

VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE MODELOS BIM

Aplicação à avaliação de qualidade de projetos
de edifícios de habitação

RICARDO MANUEL MONTEIRO MOÇO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais e família,

"If you put your mind to it, you can accomplish anything"

- Christopher Lloyd

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Professor João Poças Martins, um especial agradecimento pela orientação e esclarecimentos no decorrer desta dissertação. A sua motivação e imensa disponibilidade demonstrada aliada à sua boa disposição foi essencial à conclusão deste trabalho.

À minha família, em particular, aos meus pais por toda a compreensão, apoio incondicional, incentivo e encorajamento durante todo este processo. A eles dedico todo este trabalho.

A todos os meus amigos, pelos anos de grande amizade e com tenho vindo a partilhar momentos únicos.

A todos meus colegas de curso, pelos momentos de entusiasmo partilhados em conjunto.

À Joana por todo o apoio incondicional e compreensão nos momentos mais difíceis deste percurso.

Enfim, quero demonstrar o meu agradecimento, a todos aqueles que, de um modo ou de outro me acompanharam durante a fase do curso e tornaram possível a realização deste trabalho.

A todos o meu sincero e profundo muito obrigado.

RESUMO

A recente introdução do conceito de BIM (Building Information Modeling) permitiu um novo olhar sobre os atuais processos construtivos. Os imediatos benefícios retirados da utilização desta ferramenta ao nível da interoperabilidade, criação de vistas, identificação de erros e omissões, deteção de incompatibilidades e, sobretudo, da automatização dos processos, levaram a crescente aderência por parte da indústria AEC, assim como a sua extensão a todas as fases do processo construtivo.

Atualmente, as ocorrências de não-qualidade em edifícios, cuja causa original remonta às fases de projeto, assumem amplitudes consideráveis – cerca de um terço a metade dos custos totais de reparação de todas as deficiências construtivas detetadas. Tal fato, somado às atuais exigências do mercado, tornam a verificação de qualidade de projetos numa tarefa essencial. No entanto, na generalidade dos projetos, não é frequente a aplicação prática de um guia que apoie o projetista nas inúmeras decisões que definam a respetiva qualidade do projeto.

Atendendo aos factos, encontrou-se na avaliação da qualidade de projetos uma oportunidade para a automatização dos processos. A disponibilidade de uma ferramenta para verificação automática da qualidade de projetos apresenta-se como uma oportunidade para quem adote BIM individualmente. Para além de resultar num processo de verificação mais rápido e desmaterializado, a opção por métodos automáticos permite que os projetistas possam efetuar verificações parciais de conformidade, durante o processo de elaboração dos projetos. Assim, a verificação automática deixa de se limitar à substituição de um processo administrativo, para se tornar numa ferramenta de apoio à decisão durante a fase de projeto.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo a criação de uma rotina de verificação automática de um método de avaliação de qualidade de projetos. Dispondo do modelo IFC, como intermediário para a troca de dados entre o software usado para a preparação do modelo e aplicação usada para a verificação automática, é levado a cabo um conjunto de processos, que vão desde a interpretação do método escolhido até à análise de resultados da verificação automática, para a criação de uma ferramenta de submissão do modelo de verificação de qualidade. O software escolhido para o desenvolvimento desta ferramenta foi o Solibri Model Checker, dado ser a única aplicação de acesso público para a verificação de conformidade de um modelo IFC. Por último, é realizado um balanço ao atual estado do processo, de maneira a poder-se inferir sobre as possíveis melhorias.

PALAVRAS-CHAVE: Verificação Automática, BIM, IFC, Solibri Model Checker, Qualidade de Projetos

ABSTRACT

The recent introduction of the concept of BIM (Building Information Modeling) has allowed a fresh new look on current construction processes. The immediate benefits driven by the use of this tool in terms of interoperability, creating views, clash detection and, above all, process automation, has led to the increase of the use of this technology by the AEC industry, as well as its extension to all stages of the construction process.

Currently, the problems caused by the lack of quality of buildings, which has its roots in the early stages of the project, are particularly relevant – about a third to a half of the total costs of the building maintenance. This, added to the current market requirements, makes the project quality check an essential task to the process. However, in most of projects, it is not usual for the designer to have a quality guide, at his disposal, to support the numerous decisions in the design process.

Given these facts, quality control is a task that has been found to be suitable for automation. The availability of a tool to automatically check the quality of a building design is a great opportunity, as well as an incentive, to those who adopt BIM individually. The automation of the processes not only allow the designers to perform partial compliance-checks, during project phase, but also faster and dematerialized checking processes. Thus, automated checking is no longer limited to the replacement of an administrative process, to become a decision support tool during the design phase.

In this context, this dissertation aims to set up a routine method for evaluating the quality of building designs. Providing the IFC model as an intermediate to exchange data between the software used to prepare the model and the software used for quality control, a series of processes are carried out, that goes from the rule interpretation to the rule check reporting, to create a tool for submitting the model for quality control. Solibri Model Checker was the chosen software to develop this tool, since it is the only public access application that performs compliance-check upon IFC models. To conclude, a final balance to the actual status of the process is performed, so it can be possible to draw conclusions for further improvements.

KEYWORDS: Automated rule-checking, BIM, IFC, Solibri Model Checker, Designs quality

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. ÂMBITOS E OBJETIVOS	3
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
 2. ESTADO DA ARTE	 5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. CARATERIZAÇÃO DO PROCESSO	7
2.2.1. INTERPRETAÇÃO DO CONJUNTO DE REGRAS A APLICAR	7
2.2.1.1. Interpretação por sistema lógico – Lógica de Primeira Ordem (LPO)	8
2.2.1.2. Ontologias e sistemas de classificação	9
2.2.1.3. Método de implementação	11
2.2.2. PREPARAÇÃO DO MODELO DE VERIFICAÇÃO	11
2.2.3. VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DAS REGRAS A APLICAR	14
2.2.4. ANÁLISE DE RESULTADOS	14
2.3. INICIATIVAS EM CURSO	16
2.3.1. CORENET - SINGAPURA	16
2.3.2. STATSBYGG – PROJETO HITOS - NORUEGA	19
2.3.3. DESIGNCHECK - AUSTRALIA	21
2.3.4. INTERNATIONAL CODE COUNCIL (ICC) E GENERAL SERVICES ADMINISTRATION (GSA) - EUA ...	25
2.3.4.1. International Code Council (ICC) - SMARTcodes	25
2.3.4.2. General Services Administration (GSA)	27
2.4. REGRAS DE MODELAÇÃO	30
2.4.1. NORMAS INTERNACIONAIS	31
2.4.1.1. Estados Unidos da América	32
2.4.1.2. Finlândia	34
2.4.1.3. Reino Unido	35

2.4.2. LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD).....	36
2.4.2. MODEL VIEWS DEFINITION (MVD)	38

3. BIM NA VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE PROJETOS

3.1. INTRODUÇÃO	41
3.2. SOFTWARES DE VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE PROJETOS.....	42
3.2.1. SOLIBRI MODEL CHECKER (SMC)	42
3.2.2. JOTNE EDMODEL CHECKER.....	43
3.2.3. FORNAX	44
3.3. INTEROPERABILIDADE	46
3.3.1. ASPETOS GERAIS	46
3.3.2. <i>INDUSTRY FOUNDATION CLASSES</i> (IFC).....	48

4. AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO AUTOMÁTICA DO MÉTODO MC-FEUP

4.1. ASPETOS GERAIS	53
4.2. MÉTODO MC-FEUP	54
4.3. O MÉTODO MC-FEUP NA ÓTICA DO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA.....	56
4.3.1. ASPETOS GERAIS	56
4.3.2. INTERAÇÃO ENTRE O MÉTODO E O PROCESSO DE VERIFICAÇÃO	56
4.3.3. MULTIDISCIPLINARIDADE DO MÉTODO MC-FEUP	58
4.3.4. RELAÇÃO ENTRE O LOD E OS PARÂMETROS DO MC-FEUP.....	60
4.4. CONCLUSÕES DA ANÁLISE DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO AUTOMÁTICA DO MÉTODO MC-FEUP	62

5. CASO DE ESTUDO

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	65
5.2. METODOLOGIA DE ANÁLISE	66
5.3. INTERPRETAÇÃO DAS REGRAS PRESENTES NO MÉTODO MC-FEUP	66
5.3.1. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS	68
5.3.1.1. Critério C.1.1. – Isolamento de Escadas de Acesso Vertical.....	68
5.3.1.2. Critério C.1.2. – Revestimentos em Zonas de Circulação Comuns.....	69

5.3.1.3. Critério D.1.1. – Extintores	70
5.3.1.4. Critério D.2.1. – Rede de Incêndio Armada	71
5.3.1.5. Critério D.2.2. – Extintores	71
5.3.1.6. Critério D.3.1. – Marcos de Incêndio.....	72
5.3.1.7. Critério D.3.2. – Acesso para viaturas	73
5.3.2. CONCEÇÃO ESPACIAL DE ZONAS PRIVATIVAS	74
5.3.2.1. Critérios R.1. – Área de Compartimentos	74
5.3.2.2. Critério R.2.1 – Paredes nas Zonas Individuais.....	76
5.3.2.3. Critério R.2.2 – Paredes nas Zonas Comuns	78
5.3.2.4. Critério R.2.3. – Largura de Corredores.....	78
5.3.2.5. Critério R.2.4. – Prolongamentos Exteriores.....	79
5.3.2.6. Critérios S – Organização de Espaços	80
5.3.3. UTILIZAÇÃO DE ZONAS COMUNS DO EDIFÍCIO	82
5.3.3.1. Critério T.1.1. – Arrumos	83
5.3.3.2. Critérios T.2. – Lazer	84
5.3.3.3. Critérios T.3.1. e U.2.1. – Aparcamento Automóvel Exterior e Interior.....	85
5.3.3.4. Critério T.3.2. – Aparcamento para bicicletas.....	88
5.3.3.5. Critério U.1.1. – Zonas de Jogos para Crianças.....	88
5.3.3.6. Critério T.3.2. – Jardim.....	89
5.4. PREPARAÇÃO DO MODELO DE VERIFICAÇÃO	90
5.5. VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DO MÉTODO MC-FEUP	92
5.6. ANÁLISE DE RESULTADOS	93
5.6.1. ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO PARA AS DIFERENTES FASES DE UM PROJETO DE UMA HABITAÇÃO ...	94
5.6.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	98
 6. CONCLUSÕES	 103
6.1. RESULTADOS E CONCLUSÕES DO TRABALHO DESENVOLVIDO	103
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	107
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 109
 ANEXOS	 113

ANEXO 1 – GUIA DE UTILIZAÇÃO DO SOLIBRI MODEL CHECKER.....	115
ANEXO 2 – ANÁLISE AOS CRITÉRIOS AVALIADOS NO MÉTODO MC-FEUP.....	125
ANEXO 3 – ANÁLISE AOS ELEMENTOS REQUERIDOS NO MÉTODO MC-FEUP – CORRESPONDÊNCIA COM O SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO OMNICLASS.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Fragmentação do processo construtivo	2
Fig. 2 – Exemplo de interpretação lógica de um artigo regulamentar	8
Fig. 3 – Conceitos de classificação	11
Fig. 4 – Definição das propriedades a serem verificadas no modelo de verificação	13
Fig. 5 – Processo de qualidade da Verificação Automática de Projetos	15
Fig. 6 – Módulo e-Submission do projeto CORENET	17
Fig. 7 – Processo de Verificação Automática de Projetos no CORENET	17
Fig. 8 – Um exemplo de um objeto FORNAX – <i>ExitStaircaseShaft – Singapore Civil Defense Fire Code</i>	19
Fig. 9 – Visão geral do processo de verificação automática no projeto HITOS	20
Fig. 10 – Arquitetura do sistema do DesignCheck	22
Fig. 11 – Um exemplo de uma interpretação orientada por objetos de um artigo regulamentar australiano	23
Fig. 12 – Interface de visualização gráfica do relatório de resultados do DesignCheck	24
Fig. 13 – Página interativa de apresentação dos resultados da verificação automática	24
Fig. 14 – O conceito de SMARTcodes	25
Fig. 15 – Estrutura base de um sistema de verificação automática baseado no SMARTcodes	26
Fig. 16 – Relatório de resultados da verificação automática	27
Fig. 17 – Resultados da validação do programa espacial	28
Fig. 18 – Parâmetros contendo a descrição das regras de circulação presentes no CGD	28
Fig. 19 – Derivação de gráficos de circulação de um edifício	30
Fig. 20 – Evolução do LOD de uma secção de um pilar em aço	38
Fig. 21 – Edição de uma <i>ruleset</i> do repositório do SMC	43
Fig. 22 – Arquitetura do sistema FORNAX	44
Fig. 23 – Cálculo da distância entre dois pontos no FORNAX	45
Fig. 24 – Arquitetura do fluxo de dados num sistema de verificação automática de projetos composto por BIM, IFC e SMC	47
Fig. 25 – Cronologia de lançamento das novas versões do modelo IFC	49
Fig. 26 – Disposição de camadas do modelo IFC	50
Fig. 27 – Estrutura do modelo IFC, dividida por camadas e módulos	50
Fig. 28 – O formato IFC como principal resposta aos problemas de interoperabilidade na indústria AEC	51
Fig. 29 – Avaliação dos parâmetros do Método MC-FEUP graficamente	57

Fig. 30 – Exemplo de um Critério avaliado no Método MC-FEUP.....	59
Fig. 31 – Exemplo de um Critério avaliado no Método MC-FEUP.....	59
Fig. 32 – Exemplo de um Critério avaliado no Método MC-FEUP.....	60
Fig. 33 – Exemplo de um parâmetro avaliado no Método MC-FEUP que requer elevado LOD	62
Fig. 34 – Modelo tridimensional do edifício em estudo	65
Fig. 35 – Processo conceptual de entidades a percorrer para definição do tipo de espaço	67
Fig. 36 – Processo conceptual de entidades a percorrer para definição de novas unidades do sistema SI	67
Fig. 37 – Avaliação do Critério C.1.1.....	68
Fig. 38 – Avaliação do Critério C.1.2.....	69
Fig. 39 – Avaliação do Critério D.1.1.....	70
Fig. 40 – Avaliação do Critério D.2.1.....	71
Fig. 41 – Avaliação do Critério D.2.2.....	72
Fig. 42 – Avaliação do Critério D.3.1.....	73
Fig. 43 – Avaliação do Critério D.3.2.....	73
Fig. 44 – Avaliação do Critério R.1.6.....	75
Fig. 45 – Avaliação do Critério R.1.7.....	76
Fig. 46 – Avaliação do Critério R.2.1.....	77
Fig. 47 – Avaliação do Critério R.2.1 em m.	77
Fig. 48 – Avaliação do Critério R.2.2.....	78
Fig. 49 – Avaliação do Critério R.2.3.....	79
Fig. 50 – Avaliação do Critério R.2.4.....	80
Fig. 51 – Avaliação do Critério S.1.1.....	81
Fig. 52 – Avaliação do Critério S.2.1.....	82
Fig. 53 – Avaliação do Critério S.2.2.....	82
Fig. 54 – Avaliação do Critério T.1.1.....	83
Fig. 55 – Avaliação do Critério T.2.1.....	84
Fig. 56 – Avaliação do Critério T.2.2.....	85
Fig. 57 – Avaliação do Critério T.3.1.....	86
Fig. 58 – Avaliação do Critério U.2.1.....	87
Fig. 59 – Métodos utilizados para validação dimensional de lugares de estacionamento	87
Fig. 60 – Avaliação do Critério T.3.2.....	88
Fig. 61 – Avaliação do Critério U.1.1.....	89
Fig. 62 – Avaliação do Critério U.1.2.....	89

Fig. 63 – Avaliação do Critério U.1.2. em m2	90
Fig. 64 – Classificação do extintor segundo o sistema de classificação Omniclass	91
Fig. 65 – Exemplo de regra não validada devido a compartimentos mal classificados no modelo de verificação	93
Fig. 66 – Nível 4 de qualidade, do Critério R.1.5., não é validado devido a área excessivamente pequena	96
Fig. 67 – Critério R.1.4. não verifica o mínimo regulamentar	97
Fig. 68 – Critério R.1.3. não é validado devido a erros de semântica	97
Fig. 69 – Exemplo de um relatório final em formato XLS	98
Fig. 70 – Análise estatística aos Objetivos Superiores analisados.....	99
Fig. 71 – Análise estatística aos Critérios possíveis de converter em linguagem informática	99
Fig. 72 – Análise estatística às razões pela não validação de Critérios	99
Fig. 73 – Análise estatística aos Critérios possíveis de introduzir no SMC	100
Fig. 74 – Análise estatística aos Critérios validados pelo SMC.....	100
Fig. 75 – Análise estatística às razões pela não validação de Critérios	101
Fig. 76 – Balanço final dos Critérios validados e não validados.....	101
Fig. 77 – Balanço final das razões de não validação de Critérios	101
Fig. 78 – Interface de Ficheiros.....	115
Fig. 79 – Separador <i>Roles</i> pertencente à Interface de Ficheiros	116
Fig. 80 – Separador <i>Settings</i> pertencente à Interface de Ficheiros.....	117
Fig. 81 – Interface do Modelo.....	117
Fig. 82 – Interface de Verificação.....	118
Fig. 83 – Classificação dos elementos necessários à verificação automática	119
Fig. 84 – Janelas de visualização <i>Results Summary</i>	119
Fig. 85 – Visualização da regra não validada em pormenor na <i>3D View</i>	120
Fig. 86 – Criação de um relatório sobre a regra não validada	120
Fig. 87 – Criação de um relatório com atribuição de responsabilidades	121
Fig. 88 – Exportação do relatório para Excel, PDF ou RTF.....	121
Fig. 89 – Interface da Informação a Recolher.....	122
Fig. 90 – Interface do Gestor de Regras	123
Fig. 91 – Explicação detalhada em página de internet	124

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Requerimentos mínimos para verificação das condições de circulação	29
Tabela 2 – Normas ou diretrizes BIM mais importantes a nível internacional	32
Tabela 3 – Objetivos Superiores do Método MC-FEUP	55
Tabela 4 – Quantificação quantitativa dos Critérios de avaliação no Método MC-FEUP	55
Tabela 5 – Análise aos Critérios avaliados no Método MC-FEUP	125
Tabela 6 – Análise aos elementos requeridos pelo Método MC-FEUP e correspondência com a respetiva referência de classificação Omniclass	131

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AEC – Architecture Engineering Construction
AIA – American Institute of Architects
API – Application Programming Interface
BCA – Building Code of Australia
bSa – buildingSmart alliance
CAD – Computer-Aided Design
CAM – Computer-Aided Manufacturing
CGD – United States Courts Design Guide
CIM – Common BIM Requirement
CSIRO – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
DAT – Design Assessment Tool
DDS – Data Design System
DWG – Formato para a troca de dados entre aplicações Autodesk
EUA – Estados Unidos da América
FM – Facility Management
GSA – General Services Administration
HTML – Hypertext Markup Language
IAI – International Alliance for Interoperability
ICC – International Code Council
ICIS – International Construction Information Society
IDM – Information Delivery Manual
IFC – Industry Foundation Classes
IFD – International Framework for Dictionaries
ISO – International Organization for Standardization
LOD – Level of Development
LPO – Lógica de Primeira Ordem
MEP – Mechanical Electrical Plumbing
MVD – Model Views Definition
NBIMS – National BIM Standard
NBS – National Building Specification
NIBS – National Institute of Building Science

RIBA – Royal Institute of British Architects

SMC – Solibri Model Checker

SQL – Structured Query Language

TEKES – Finnish Funding Agency for Technology and Innovation

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

VTT – Technical Research Centre of Finland

XML – eXtensible Markup Language

Fig - Figura

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No decurso da história, o setor construtivo sempre foi um setor caracterizador da evolução humana. No entanto, desde a década de 90, o desenvolvimento tecnológico sofrido pelos diversos setores da economia não foi acompanhado pelo setor construtivo, cujos processos e tecnologias de execução mantiveram-se estagnados ao longo tempo, sendo que ainda hoje é considerada uma indústria de processos artesanais. Dadas estas razões, é fácil constatar que, atualmente, o mercado da construção confronta-se com momentos de grandes dificuldades, o que também significa um momento de revisão de processos e do estado da arte.

Os tempos de hoje são considerados estágios de mudança essenciais no processo. Neste sentido, a racionalização do setor é indispensável. Racionalizar a produção significa estudar os métodos de produção, a fim de reduzir o tempo de trabalho e de execução, com o objetivo de conseguir a melhor produtividade e a melhor rentabilidade, algo já amplamente implementado noutras indústrias. Deste modo, a automatização dos processos revelou-se numa das formas mais eficazes para atingir estes objetivos.

Desde há alguns anos, as tecnologias da informação têm permitido auxiliar as mais diversas indústrias, incluindo a construção, na procura de novos métodos de trabalho, estando claramente integrada no processo de racionalização das mesmas. A utilização das tecnologias da informação e comunicação (TIC) já há muito são utilizadas no sector construtivo. Várias aplicações, que vão desde o AutoCAD ao MS Excel, são já considerados standards de um projeto de engenharia civil. Tendo isto em mente, a questão coloca-se: Porquê que as tecnologias de informação e comunicação para a construção não se encontram devidamente disseminadas? A resposta à questão colocada pode ser resumida numa só palavra: eficiência. A indústria da construção é vista como uma das menos eficientes na adoção das TIC.

O processo construtivo apresenta-se, atualmente, demasiado fragmentado. Não há uma comunicação eficaz entre as várias fases e intervenientes do processo construtivo, causando erros e repetições sucessivas e inadequadas de informação, que levam a resultados finais acima dos prazos e custos inicialmente previstos. É, então possível, afirmar distintamente que não há uma gestão da informação suficientemente eficaz (Fig. 1).

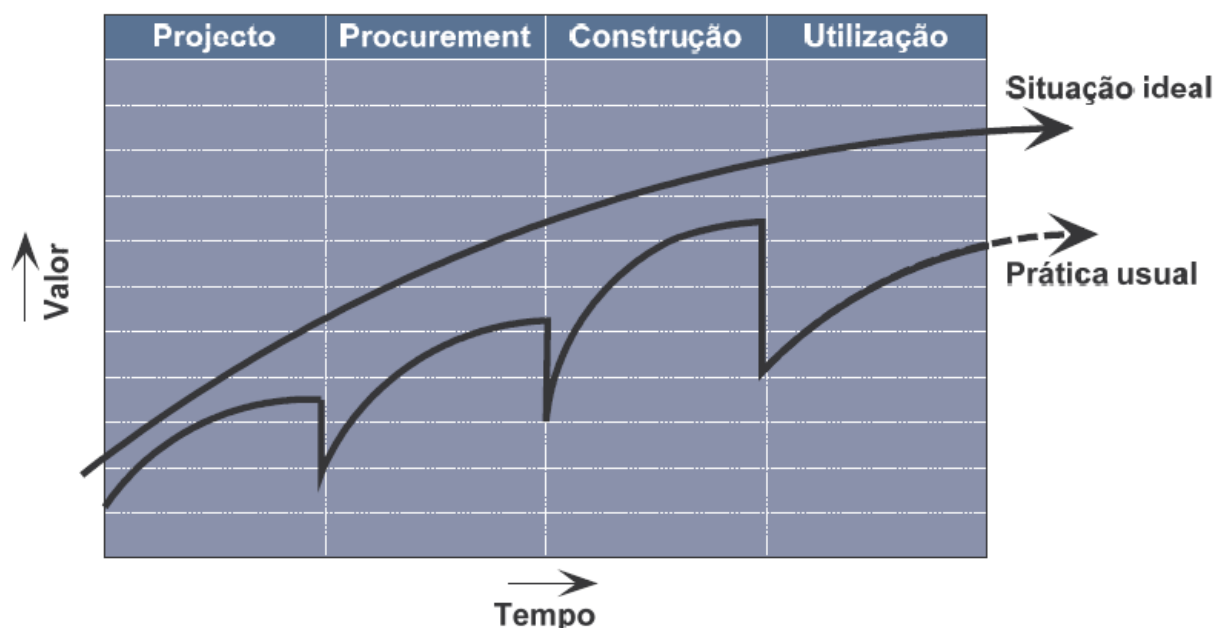


Fig. 1 - Fragmentação do processo construtivo (Hipólito Sousa 2009)

A introdução do conceito de *Building Information Modeling* (BIM) pode ser uma das respostas a estes problemas. De repente, a representação de um produto da construção passa de uma simples representação em linhas e pontos, para a representação de um modelo tridimensional do edifício com objetos que contêm toda a informação do seu ciclo de vida. Os elementos que constituem o modelo encontram-se agora ligados por relações paramétricas, de maneira a que qualquer alteração que seja efetuada se propague em tempo real. Um modelo representativo de um edifício pode agora ser partilhado entre os vários intervenientes do processo construtivo que trabalhem na mesma plataforma, minimizando os erros e omissões, assim como a introdução de informação repetida e sucessiva de informação. Associado ao conceito dos BIM está, também, a automação de processos.

Uma tarefa que pode beneficiar com a nova realidade introduzida pelos BIM, e comum a todos os projetos, é a verificação de conformidade, principalmente em fase de licenciamento. Atualmente, esta fase do processo é considerada essencialmente burocrática e propícia aos mais variados erros de interpretação. Apesar de alguns critérios pertencentes a esta fase serem já objetos de análise de um sistema informático, como por exemplo, a análise estrutural, o processo acaba por ser considerado maioritariamente manual. Posto isto, a automatização da verificação de conformidade de um projeto é aqui materializada por uma aplicação que retire a informação presente no modelo de forma automática, sem intervenção humana na medição ou interpretação da informação. Tal cenário evitaria tanto o tempo gasto na verificação manual, como os custos provenientes da impressão do projeto em papel. Algo que parece, à primeira vista, ideal. Outra vantagem associada é o papel que pode desempenhar na implementação, ainda imatura, dos BIM.

A Verificação Automática de Projetos, segundo um conjunto de regras, é uma matéria que tem vindo a sofrer algum desenvolvimento nos últimos anos. A prova disso são as iniciativas governamentais e não governamentais já desenvolvidas na área, com destaque para o Corenet – Singapura, Projeto HITOS – Noruega, DesignCheck – Australia, SmartCodes – Estados Unidos da América, entre outros estudos científicos com sucesso na área. Durante a investigação de alguns dos casos de estudo já referidos, foram também desenvolvidas algumas aplicações de verificação automática de um conjunto de regras, entre as quais se destacam o Fornax e o Jotne EDModelChecker. A única aplicação comercial desenvolvida, neste âmbito, é o Solibri Model Checker (SMC)

Uma área ainda pouco explorada da verificação de conformidade é a avaliação de qualidade de projetos. As ocorrências de não-qualidade em edifícios cuja causa inicial remonta às fases de projeto assumem relevâncias consideráveis – cerca de um terço a metade dos custos totais de reparação de todas as patologias construtivas detetadas. Neste contexto, a utilização de um método de avaliação de qualidade de projetos revela-se útil, visto ser na fase de Projeto que o nível técnico dos intervenientes é mais elevado, que as condições de trabalho são mais favoráveis, que as diferentes alternativas podem ser analisadas e especificadas de forma eficaz, que as propostas finais podem ser devidamente confrontadas com todas as exigências regulamentares, construtivas e outras relevantes, antes de serem colocadas em execução [29]. Outro aspeto relevante, é o facto de ser nas fases iniciais (fase de projeto) que as oportunidades para influenciar o produto final são maiores e com custos de produção mais baixos. Os aspetos aqui referidos, somados à pouca aplicação prática de um guia que apoie o projetista nas inúmeras decisões que definam a respetiva qualidade do projeto, abrem a oportunidade à criação de uma ferramenta útil e inexplorada.

1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS

De maneira a responder a este tipo de questões, a presente dissertação tem como principal objetivo aliar a automação introduzida pelos BIM, no processo construtivo, com o apoio à decisão do projetista em termos de qualidade do seu projeto. De maneira a atingir este objetivo, pretende-se que seja estabelecido um conjunto de processos para a criação de uma rotina de verificação automática de um método de avaliação de qualidade de projetos.

Neste âmbito, será avaliada a conformidade de um método de avaliação da qualidade de projetos de habitação num modelo que corresponda às exigências de informação colocadas pelo mesmo. Para tal, e tendo em conta que o método avaliado não se encontra preparado para ser verificado automaticamente, por um sistema informático, será necessário parametrizar algumas regras presentes em critérios mensuráveis. Deste modo, na presente dissertação, a definição de regra deve ser entendida no sentido lato, ou seja, como um conjunto de proposições com valor lógico de verdadeiro ou falso. Este significado apresenta-se de grande importância para a execução de uma rotina de verificação.

Neste contexto, foi levado a cabo um conjunto de processos, que vão desde a interpretação das regras à análise de resultados provenientes da verificação realizada.

Por fim, a presente dissertação tem como finalidade ser mais uma contribuição para a utilização dos BIM em projetos de construção, cooperando assim para o, ainda tardio, amadurecimento desta útil ferramenta.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em seis capítulos, incluindo este capítulo introdutório onde se realiza um enquadramento geral da dissertação e onde são referidos os objetivos a atingir.

No segundo capítulo apresenta-se o estudo do estado da arte, na área da verificação automática de projetos, apresentando uma caracterização genérica ao método que, atualmente, serve de suporte ao desenvolvimento de aplicações de verificação automática de um conjunto de regras. É também realizada uma análise descritiva às iniciativas já desenvolvidas no âmbito, bem como, às regras de modelação atualmente existentes.

De seguida, no terceiro capítulo, é avaliado o atual desenvolvimento dos BIM no âmbito da Verificação Automática de Projetos, com apresentação dos atuais softwares desenvolvidos neste sentido, bem como o atual problema da troca de dados entre as diferentes aplicações.

O quarto capítulo destina-se à análise da viabilidade da validação automática do Método MC-FEUP, com a introdução de uma apresentação geral ao mesmo. Por conseguinte, proceder-se-á a uma descrição da interação entre este e o processo de verificação, com referências das características que permitem que o mesmo seja introduzido numa rotina de verificação automática, sem esquecer alguns dos obstáculos que o mesmo apresenta neste processo.

O quinto capítulo, aplica tais conhecimentos num caso de estudo prático, apoiado num modelo IFC. A estrutura é semelhante ao segundo capítulo, dada a metodologia base ser mesma. Após a verificação da conformidade regulamentar do Método MC-FEUP serão analisados os resultados obtidos, estabelecendo uma ponte para redação do capítulo final.

No sexto e último capítulo serão apresentadas as conclusões do presente trabalho, bem como as oportunidades para desenvolvimentos futuros.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. INTRODUÇÃO

Até há alguns anos, o processo de verificação de projetos foi pensado segundo uma via de resolução cognitiva, manual e essencialmente burocrática. Apesar de alguns aspetos serem objeto de análise das TIC (como por exemplo o cálculo estrutural), a avaliação dos fatores de segurança e a interpretação de resultados sempre foram realizados manualmente. A introdução dos BIM, neste processo, parece estar a mudar este paradigma, na medida em que permitem a geração automática de desenhos paramétricos e a criação de modelos interpretáveis, por várias aplicações, sem perda significativa de informação.

Para correta interpretação deste trabalho, é necessário clarificar dois conceitos base: Licenciamento Automático de Projetos e Verificação Automática de Projetos. A Verificação Automática de Projetos é definida como um conjunto de processos realizados por um software que não modifica o modelo de projeto, mas apenas o avalia com base na configuração dos seus objetos, nas suas relações e atributos. Um sistema deste tipo tem como base a aplicação de um conjunto de regras, restrições ou condições ao modelo de projeto e o fornecimento dos respetivos resultados do tipo: “verifica”, “não verifica” e “aviso” (caso a informação em questão esteja em falta). Por outro lado, o Licenciamento Automático de Projetos tem como base a verificação automática, mas com vista a verificação de um regulamento específico, ou seja, com o fim de obter uma determinada autorização legal. Pode-se dizer que o licenciamento é um caso particular da verificação. Neste contexto, é possível verificar um projeto tendo em conta regras de qualidade definidas pelo próprio projetista sem que estas sejam objeto de um regulamento específico. Quer isto dizer, que é possível proceder à verificação automática de um projeto sem o licenciar, mas o contrário já é uma tarefa impossível. É frequente que em certos casos, em que se refira, a Verificação Automática de Projetos seja com vista ao seu licenciamento, devido à estreita relação entre os conceitos.

Apesar de a maior parte dos estudos no âmbito da Verificação Automática de Projetos ter como fim o seu licenciamento, ou seja, o cumprimento de disposições regulamentares a nível nacional, atualmente, vários autores, incluindo o caso de estudo que serve de base a esta dissertação, analisaram a aplicação da verificação automática de regras a situações mais específicas, tais como requisitos de clientes ou situações específicas do tipo de edifício (hospitais, lares de idosos, etc.). Fazendo uma revisão ao conjunto de temas objeto de estudo da verificação automática, identificaram-se os principais [1]:

- Verificação de erros no modelo - Este conjunto de regras tem como objetivo principal a verificação dos aspetos sintáticos do modelo em relação a um conjunto de elementos padrão ou em relação a um conjunto de requisitos para o modelo IFC;

- Verificação de disposições regulamentares – Verificação do modelo em relação a um conjunto de regras presentes num decreto regulamentar. Este tema, como já foi descrito, serve como base ao estudo desta dissertação;
- Requisitos específicos de clientes – Por exemplo, regras específicas de edifícios como hospitais ou lares de idosos;
- Verificação de viabilidade de construção e de requisitos específicos do empreiteiro geral - Este tipo de verificação envolve a utilização de objetos temporários no modelo e condições apenas presentes durante a fase de preparação da obra, como por exemplo os objetos de escoramento e as cofragens;
- Regras de segurança e saúde – Este tipo de verificação serve para automatizar a procura por elementos de perigo dentro de uma construção quer em fase de execução de obras, quer em fase de serviço.
- Aprovações de garantia – O modelo pós-construção é verificado de maneira a detetar problemas que possam afetar a garantia ou os custos de manutenção. No entanto, estes requisitos necessitam de ser combinados com a inspeção do mesmo. A verificação serve também como ferramenta à entidade que irá realizar a inspeção de maneira a identificar os potenciais problemas do projeto e da construção.
- Verificação da informação necessária às operações de gestão do edifício em serviço de forma a apoiar as operações de FM (Facility Management) – Tendo em conta que o papel dos BIM ao longo de todo ciclo de vida dos edifícios, atualmente a utilização das aplicações BIM-FM vêm ganhando cada vez mais importância;
- Verificação da qualidade de projetos de construção e apoio à decisão - Este tipo de verificação serve para verificar automaticamente níveis de qualidade de projetos de construção, tendo em conta regras de boas práticas e guias de qualidade em projeto. O caso de estudo que serve de base a esta dissertação tem como fim a avaliação da qualidade de projetos de habitação, segundo o método MC-FEUP, como será possível ver mais à adiante.

Até à data, grande parte dos esforços realizados na Verificação Automática de Projetos foram com aplicação a regras de acessibilidade de edifícios e regras de boas práticas em projeto. No entanto, tendo em conta os custos e tempo associado ao Licenciamento de Projetos, a Verificação Automática de Projetos tem vindo a ser testada com vista ao seu licenciamento, tendo como objetivo principal que o tempo e custos associados a essa tarefa possam ser drasticamente reduzidos. Além disso, o processo de licenciamento tem características que o tornam uma significativa oportunidade para a introdução dos BIM no processo construtivo, com evidentes vantagens imediatas para os intervenientes que voluntariamente os adotem [2].

O licenciamento automático de projetos é o objetivo de um conjunto de iniciativas a nível internacional, sendo indicado por um dos autores mais influentes na área dos BIM como uma meta que deverá ser atingida cerca do ano 2020 [2].

Uma ferramenta de verificação automática tem o benefício de poder ser aplicada em várias plataformas, dos seguintes modos [3]:

- Uma ligação direta do tipo “*Plug-in*” a um software de modelação;
- Como uma aplicação independente do software de modelação;
- Como uma plataforma eletrónica para submissão dos modelos de projeto acessível via internet.

No futuro, espera-se que a verificação automática, principalmente aplicada ao licenciamento de projetos, evolua para um sistema pró-ativo, capaz de receber informação regulamentar e fornecer uma solução ótima do modelo de projeto que esteja de acordo com as disposições regulamentares [2]

Como se verá mais adiante, o formato IFC parece, à primeira vista, ser o formato universal e público capaz de responder à exigência de troca de dados necessária à Verificação Automática de Projetos. Uma linguagem que procura ser comum e compatível com as várias aplicações BIM, pensado com o intuito de criar um standard que permita normalizar o processo construtivo, de modo a explorar o máximo possível as vantagens de projetar usando os BIM.

Todo o processo de verificação automática seguido, que vai desde a interpretação da regulamentação até aos resultados obtidos da respetiva verificação automática, tem como base um método atualmente aceite pela comunidade científica no âmbito [4], que propõe um processo padrão para verificação automática de regras aplicadas a modelos de informação. Contudo, é importante referir que este método não é utilizado, no caso de estudo presente nesta dissertação, na sua totalidade, principalmente no que diz respeito à transposição das regras para linguagem informática. Neste caso particular, a transposição é realizada através de adaptação de *rulesets* existentes no software de verificação automática usado para o efeito, conhecido como Solibri Model Checker, tornando essa transposição mais simples e sem necessidade de conhecimentos de programação.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

De acordo com um dos autores mais influentes no tema [4], o processo de verificação automática engloba 4 fases distintas: (1) interpretação do conjunto de regras a aplicar e passagem das especificações para linguagem de programação; (2) preparação do modelo de verificação, através da utilização de modelos existentes ou da criação de uma nova base de dados capaz de satisfazer as exigências de utilização estabelecidas pelo regulamento; (3) desenvolvimento da aplicação que correrá as rotinas de verificação com base na informação do modelo de verificação; (4) criação de mecanismos para produção de outputs através de relatórios gráficos ou de documentação escrita.

Devem existir convenções comuns na elaboração das primeiras três frases de forma a adaptar o melhor possível o conjunto de regras ao modelo de verificação, uniformizando o processo.

Como fase inicial, deste processo, é necessário identificar e solicitar ao projetista a inclusão da informação necessária à verificação automática no modelo de projeto. Esta informação pode ser, por exemplo, dimensões de corredores ou janelas, ou outra informação que seja necessária ao cumprimento das regras a aplicar.

2.2.1. INTERPRETAÇÃO DO CONJUNTO DE REGRAS A APLICAR

O conjunto de regras a aplicar é, primeiramente, definido e interpretado em linguagem humana, normalmente traduzida em texto escrito, tabelas ou equações, percorrendo o conteúdo normativo em estudo regra a regra (como é possível ver adiante, foi proposto um sistema de classificação para cada regra de acordo a possibilidade de ser verificado automaticamente ou não).

A tarefa principal, e que está na base desta dissertação, é a uniformização das regras a aplicar e das respetivas especificações informáticas, dada a dificuldade em converter um conjunto de regras (quer seja de uma diretiva regulamentar ou de qualquer outro conteúdo normativo) com vista à leitura e aplicação manual para uma versão semelhante para leitura e aplicação informática. Aplicado ao licenciamento, acresce o facto de a regulamentação ligada à construção, principalmente a regulamentação nacional, apresentar características que dificultam a sua tipificação, tais como: a sua complexidade subjetiva; o recorrente uso de terminologias; a complexidade da sua estruturação e da

relação entre os diferentes artigos [5]. Na maioria dos casos, este processo recai na interpretação e na capacidade de tradução em linguagem informática do próprio programador. Dado o descrito, infere-se que quanto mais uniformes forem as especificações, menos problemas de interoperabilidade surgirão.

Segundo um dos autores analisados [6], para efeitos de verificação, as regras a verificar podem ser divididas em indetermináveis ou mensuráveis. No entanto, só o conjunto de regras mensuráveis são tidos em conta para efeitos de verificação automática. Segundo este autor as disposições mensuráveis são extraídas e interpretadas segundo critérios facilmente avaliáveis em linguagem informática, conforme a Fig. 2.

Building code provisions	Entities identified	Facts extracted	Rules extracted
The household shelter's door net opening dimensions: 1. Width = 700 mm 2. Height = 1900 mm	1. Household shelter door 2. Door width 3. Door height	700 1900	If (doorWidth = 700 and doorHeight = 1900), then "passed", else "failed"
The household shelter on every storey shall be located one on top of the other, to form a vertical tower with continuous walls	1. Total floor number 2. Total unit number 3. Household shelter (HS) tower 4. HS(<i>j</i> th floor, <i>j</i> th unit) = (X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})[<i>k</i>] ^a 5. HS(criterion of <i>j</i> th HS tower) = (X_{0j}, Y_{0j}, Z_{0j})[<i>k</i>] ^a	Null	If (X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})[<i>k</i>] = (X_{0j}, Y_{0j}, Z_{0j})[<i>k</i>] then "passed", else "failed" <i>k</i> = 1, 2, ...

^a(X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})[*k*] —a vertex coordinates array for a household shelter of *j*th unit on *i*th floor. (X_{0j}, Y_{0j}, Z_{0j})[*k*] —a criterion vertex coordinates array for *j*th household shelter tower.

Fig. 2 - Exemplo de interpretação lógica de um artigo regulamentar [6]

De acordo com o que já foi mencionado, as regras a verificar necessitam de um conhecimento especializado na área da programação, de maneira a serem interpretadas por um sistema informático. Existem várias formas de abordagem, no que diz respeito a esta tarefa, no entanto, a maior parte dos esforços realizados, neste sentido, focam-se na representação linguística da semântica e da gramática das regras a verificar. Na prática, é sempre necessário conhecimento especializado na área de maneira a interpretar o significado ou a semântica das regras, ou seja: o propósito base, as suposições por trás das regras e as dependências com outras regras. A interpretação do conjunto de regras a verificar torna-se, então, crucial na transformação de disposições que são normalmente ambíguas em definições precisas, através da remoção dessa ambiguidade e clarificação dos seus conceitos base e princípios definidores. Esta tarefa é normalmente conseguida através de uma série de questões impostas às regras que ajudam a compreender o que necessita de ser realmente verificado.

Com isto, é de fácil compreensão que a interpretação do conjunto de regras a aplicar é um dos passos mais importantes na verificação automática, pois sem ela seria impossível a transposição das mesmas para um sistema informático. No projeto CORENET, descrito detalhadamente em 2.3.1., a interpretação das regulamentações representa 20-30% do esforço total. Apesar de o esforço corresponder a uma grande percentagem, o investimento num bom processo, neste caso, de interpretação de disposições regulamentares leva a uma maior qualidade na verificação automática, permitindo a eliminação de erros na origem e uma maior automatização dos processos. Uma das metodologias mais usadas neste processo é a interpretação por sistema lógico tornando a interpretação das regulamentações sistemática e consistente para a sua consequente programação [1].

2.2.1.1 Interpretação por sistema lógico – Lógica de Primeira Ordem (LPO)

Uma possibilidade de processamento de conjuntos de regras em linguagem informática, é através do uso de sistema lógico conhecido por Lógica de Primeira Ordem (LPO) ou Lógica de Predicados. A

Lógica de Primeira Ordem (LPO) aumenta o poder expressivo da linguagem ao permitir associar as asserções lógicas às propriedades de objetos de um determinado domínio. A LPO apresenta um poder expressivo suficiente para formalizar praticamente toda a matemática. Para definir uma linguagem de primeira ordem é necessário dispor de um alfabeto. Este alfabeto introduz os símbolos à custa dos quais são construídos os termos e as fórmulas dessa linguagem.

A Lógica de Predicados tem vindo a ser usada há décadas como meio de formalização de decretos regulamentares em todo o mundo.

Existem dois elementos chave na LPO: a sintaxe, que determina quais os conjuntos de símbolos que são expressões legais; e a semântica que determina os significados por trás dessas expressões. Ao contrário da linguagem humana, em lógica, um predicado é um termo bem definido que pode ser avaliado em “VERDADEIRO” ou “FALSO” (ou “INDEFENIDO” caso o termo não seja definido), permitindo determinar automaticamente se uma proposição é válida ou não.

Existem dois tipos de elementos presentes num conjunto de regras: termos, que representam objetos; e fórmulas, que expressam os predicados que podem ser verdadeiras ou falsas. Os termos e as fórmulas em lógica de primeira ordem são sequências de símbolos que, juntos, formam o alfabeto da língua. Estes símbolos do alfabeto são divididos em símbolos lógicos, que têm o mesmo significado, e símbolos não-lógicos, cujo significado varia de acordo com a interpretação. Existem vários símbolos lógicos do alfabeto, e geralmente incluem [7]:

- Os conetores lógicos: \wedge para conjunção, \vee para disjunção, \rightarrow para implicação, \leftrightarrow para dupla condição, \neg para negação, \forall e \exists para quantificações e $=$ para igualdade;
- Parêntesis, outros símbolos de pontuação e um conjunto infinito de variáveis, muitas vezes indicada por letras minúsculas no final do alfabeto x, y, z , etc. Por outro lado, os símbolos não-lógicos representam relações de predicados, funções e constantes no domínio do discurso.

A LPO facilita a representação de objetos por categorias, como é possível constatar no seguinte exemplo [7]: (1) Um objeto é um membro de uma categoria: 4×8 S4S Vigas de Madeira; (2) Essa categoria é uma subclasse de outra categoria: Vigas de Madeira \subset Vigas (3) Todos os membros de uma categoria têm algumas propriedades em comum: $x \in \text{Vigas de Madeira} \rightarrow \text{Retangular}(x)$;

A LPO facilita, também, a representação de medições e quantidades. Por exemplo, podem representar fatores de forma: $\text{SectionModulusX}(4 \times 8) = \text{CubicInches}(30,7)$.

Para ilustrar a aplicação da LPO à interpretação de regras considere-se o seguinte exemplo:

Um artigo de um decreto de lei diz que “apenas Engenheiros com 5 anos de experiência (E5A) podem aprovar o projeto:

$$\forall x (E5A(x) \rightarrow \text{Permitted}(x, \text{approve design})) ; \forall x (\neg E5A(x) \vee \neg \text{Permitted}(x, \text{approve design}))$$

Texto 1 – Exemplo de interpretação de um artigo regulamentar através da lógica de primeira ordem [7]

2.2.1.2 Ontologias e sistemas de classificação

As ontologias podem ser descritas como mecanismos de formalização de conhecimento abstrato. A importância das ontologias no mundo dos modelos de dados na construção, está associada à necessidade de representar e agrupar conceitos de forma sistematizada, de modo a obter vias de

disseminação do conhecimento que sejam facilmente acessíveis e interpretadas por parte de todos os envolvidos [8].

A definição de ontologia, como especificação explícita de uma abstração, de alguma maneira, pressupõe uma ação caracterizadora para conceitos genéricos. Deste modo, as ontologias descrevem [8]:

- Objetos: definição de um conceito ao qual é dado significado de modelação, pela atribuição de propriedades;
- Classes: conjunto de objetos utilizados para definir uma propriedade;
- Propriedades: conjunto de atributos utilizados para caracterizar um objeto em termos de constituição e/ou funcionalidade;
- Relações: entre objetos e/ou classes, define o “grau de parentesco” e a forma como estes se relacionam;

Estes conceitos são essenciais na transposição das disposições regulamentares para uma aplicação de verificação automática de regras, tendo em conta que essas mesmas regras estão associadas aos respetivos objetos, classes e conseqüentemente às relações entre eles. Deste modo, e para o correto sucesso deste processo, a existência de um sistema de classificação é de extrema importância. Os sistemas de classificação definem a divisão hierárquica entre conjuntos de objetos e classes, e respetivas relações. As relações semânticas entre objetos num sistema de classificação são claramente mais limitados do que nas ontologias, embora a sua aplicabilidade seja mais viável a curto prazo, de acordo com as ferramentas informáticas atualmente disponíveis [2]. A Fig. 3 mostra um exemplo de conceitos de classificação.

A transposição das disposições regulamentares têm como base 2 aspetos essenciais: (1) a condição ou o contexto em que a disposição é aplicada; (2) as propriedades sobre as quais a disposição é aplicada. Por exemplo, atente-se numa disposição regulamentar sobre evacuação em caso de incêndio, como primeiro passo a tomar seria identificar os potenciais caminhos de evacuação e, de seguida, verificar as dimensões (largura e comprimento) dos caminhos identificados. Para o sucesso destas tarefas é essencial que os espaços a estudar estejam devidamente classificados e as propriedades e relações entre objetos estejam devidamente definidas.

Neste âmbito, foi normalizado um sistema de classificação para a organização de toda a informação da construção denominado por Omniclass. Este conceito deriva de normas internacionalmente aceites desenvolvidas por parte da Organização Internacional de Normalização (ISO) e pela Sociedade Internacional de Informações da Construção (ICIS), que realizam esforços no sentido de padronizar a classificação de elementos de edifícios com benefícios diretos na modelação e trocas de informação entre aplicações BIM. A Omniclass trabalha em paralelo, mas de forma distinta, com o IFD (*International Framework for Dictionaries*) que providencia definições explícitas de componentes de edifícios, as suas propriedades para usos diferenciados e em múltiplas línguas. Este sistema é atualmente utilizado por algumas aplicações BIM, apesar de, atualmente, não haver total eficácia na sua aplicação, dado se apresentar relativamente incompleto na classificação de elementos de um modelo. A utilização da Omniclass ao permitir uniformizar a classificação dos vários espaços físicos, facilita o reconhecimento dos mesmos por parte da aplicação usada para a verificação automática, contribuindo desta forma para o decréscimo de erros de interoperabilidade, que se irá falar adiante.

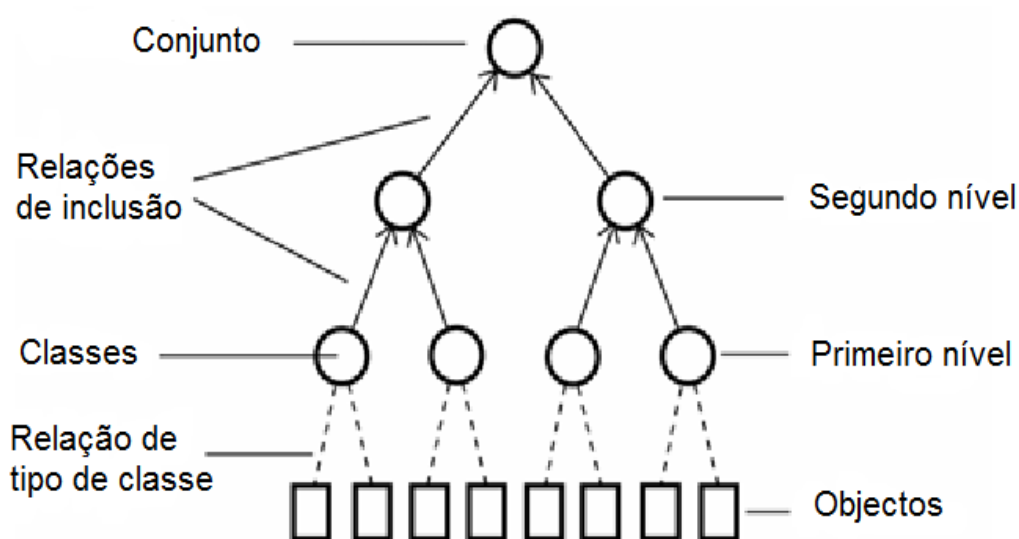


Fig. 3 – Conceitos de classificação [8]

2.2.1.3 Método de implementação

A transposição do conjunto de regras a verificar podem ser implementadas de diferentes maneiras. As mais comuns, e atualmente aceites na comunidade científica, são:

- Disposições transpostas diretamente em linguagem informática;
- Tabelas paramétricas.

As disposições transpostas diretamente, em linguagem informática, requerem um elevado conhecimento ao nível de programação de maneira a poder definir as regras, escreve-las e atualiza-las na linguagem de programação a ser utilizada. Como tal, este tipo de implementação não se encontra totalmente difundido na comunidade científica. Apesar de tudo, este tipo de abordagem é considerada a mais integrada dado que traduz a regulamentação diretamente em linguagem informática.

A utilização de tabelas paramétricas é um método válido, mas restrito para a definição de novas regras para verificação automática. Esta tabela descreve os parâmetros a utilizar em cada regra específica, definindo de maneira simples as respetivas disposições sem conhecimento de programação. No entanto, apresentam-se limitadas no número de parâmetros que conseguem representar.

Este tipo de sistema é um passo intermédio entre facilidade de representar uma respetiva regra e a capacidade de representar qualquer regra.

2.2.2 PREPARAÇÃO DO MODELO DE VERIFICAÇÃO

Nas tradicionais representações em CAD (*Computer-Aided Design*), os requisitos para posterior verificação/licenciamento dos projetos baseavam-se em representações 2D passíveis de interpretação da informação requerida para o efeito, ou seja, que os desenhos e as peças escritas se apresentassem visualmente perceptíveis e contivessem a informação necessária à verificação a efetuar.

Atualmente, com o aparecimento dos Modelos de Informação para a Construção (BIM), o nível exigencial aumentou e, como tal, os requisitos mudaram. Os objetos a serem verificados contêm informação, ou seja, classificação e propriedades. Por exemplo, um objeto que tenha a aparência de

um conjunto de degraus separados adequadamente, mas definidos como uma laje de pequena dimensão não serão interpretadas como escadas, a não ser que que contenham objetos característicos de uma escada, com propriedades como espelho, patim, etc. [4]. Este exemplo compreende rigorosamente a definição dos BIM. Dadas estas condições, é fácil perceber que as exigências de um modelo para posterior verificação automática, em BIM, são bastante mais rigorosas do que os requisitos de um projeto apoiado em CAD. Tendo em conta estes requisitos, os projetistas na preparação do modelo de licenciamento, têm de ter em conta a informação necessária a colocar no modelo, para posterior verificação automática, sendo que esta deverá estar bem estruturada e associada aos respetivos objetos que irão ser alvo da verificação [9]. Neste âmbito, foi desenvolvido o GSA BIM Guides (GSA, 2009) que fornece exemplos de requerimentos que o modelo deve possuir, para poder ser executada uma verificação automática de caráter simples. Atualmente, essa informação a inserir terá de ser convertida para formato IFC, de maneira a poder ser testada pelo software de verificação automática.

Um modelo de verificação adequado para posterior validação automática tem obrigatoriamente de ser consistente com as regras a verificar, possuindo todas as entidades IFC e propriedades antes da derivação da informação e da verificação automática. Os requisitos para um modelo de verificação bem definido devem ser claramente específicos através do ponto de vista tanto dos utilizadores como das companhias dos softwares da disciplina, sempre baseados em Definições de Vistas de Modelo (MVD) explicitamente definidas. A Definição de Vistas de Modelo (MVD), como se verá mais à frente no capítulo 2.4.3., define um subconjunto da estrutura do modelo IFC, que é necessário para satisfazer um ou vários requisitos de troca de informação na indústria da construção.

Os elementos, as propriedades e as suas relações são as características a realçar num modelo IFC. Relações estreitas entre elementos num modelo permitem o estabelecimento de significados entre os elementos a ser identificados. Por exemplo, *IfcRelSpaceBoundary* providencia a relação fronteira entre um Espaço (*IfcSpace*) e um elemento de um edifício como uma Porta (*IfcDoor*). Tal permite a relação espacial entre a entrada de um Espaço e uma Porta Exterior a identificar de maneira a verificar uma entrada acessível.

Segue-se exemplos de entidades, suportadas pelo modelo IFC, que materializam relações entre elementos maioritariamente usadas na Verificação Automática de Projetos [10]:

- *IfcRelAggregates* – relações de agregação de um edifício e andares, de um andar e espaços, etc.;
- *IfcRelSpaceBoundary* – relação-fronteira de um espaço e um elemento do edifício como uma parede, uma porta, etc.;
- *IfcRelContainedInSpatialStructure* – relação de inclusão de um espaço e objetos contido no espaço, como por exemplo objetos de casa de banho;
- *IfcRelDefinesByProperties* – relação de conjunto de propriedades e objetos.

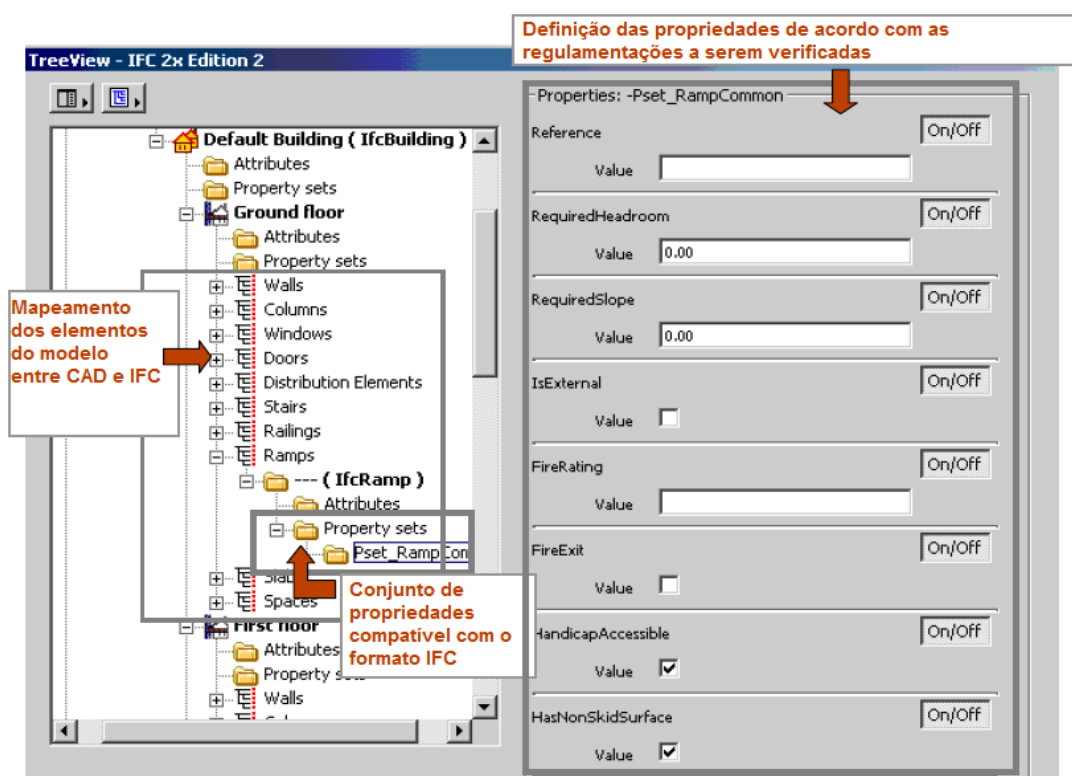


Fig. 4 – Definições das propriedades a serem verificadas no modelo de licenciamento

Os modelos de informação para posterior verificação automática envolvem largos conjuntos de dados. Além disso, os modelos construídos até à data, não são específicos quanto ao nível de detalhe requeridos para essa mesma verificação, podendo, na maior parte das vezes, requerer informação/detalhes que não vêm incluídos no modelo de projeto. Com efeito, segundo [11], o uso de Vistas de Modelo (MVD) distintas, de maneira a extrair a informação necessária para uma determinada verificação automática, tanto do edifício em geral, como através dos seus subsistemas, garante um maior detalhe na análise da informação. Até a data, todas iniciativas a nível da verificação automática de projetos analisadas, seguiram esta abordagem.

Em certos casos, há a necessidade de obter novos modelos provenientes do modelo inicial de maneira a poder avaliar certas propriedades ou relações implícitas. Um exemplo deste caso é a necessidade de obtenção de caminhos de circulação dentro do panorama geral de um edifício de maneira a estudar a acessibilidade para os deficientes motores e saídas de incêndio. O modelo obtido pode conter atributos como distâncias entre compartimentos do edifício e outras propriedades dimensionais relevantes para avaliar as condições de circulação. Este modelo derivado permitirá obter um melhor ambiente para posterior verificação automática.

Algumas das propriedades alvo da verificação são orientadas para o desempenho, solicitando análises ou simulações específicas para sua obtenção. As regras orientadas para o desempenho normalmente exigem a derivação de modelos específicos, com uma geometria própria, materiais próprios ou outras propriedades parâmetro, como *input* para a execução da respetiva análise/simulação. Os resultados, desta análise, são combinados com os princípios de modelação para determinação da adequabilidade das regras. Um exemplo de possível aplicação deste tipo de análise é a análise estrutural de edifícios ou a análise energética.

2.2.3 VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DAS REGRAS A APLICAR

Esta é a fase do processo onde se correrá as rotinas de verificação, com base na informação do modelo de verificação. Para tal, será necessário desenvolver uma aplicação, ou utilizar uma existente, para correr essas mesmas rotinas e o modelo previamente preparado para executar a verificação automática.

Antes de se iniciar o processo, é sempre necessário fazer uma pré-verificação sintática ao modelo, de maneira a garantir que o mesmo contém as propriedades, nomes, objetos e classificações adequadas ao cumprimento das rotinas de verificação. Esta tarefa torna-se extremamente necessária dada a alta probabilidade de faltar uma destas características ao modelo de verificação, no entanto, a mesma será de mais fácil execução quando as regras estão transpostas para linguagem de programação consistente com funções, e a essas funções estão corretamente correlacionadas com os objetos sujeitos à verificação automática.

2.2.4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Esta tarefa é o último passo do processo de Verificação Automática de Projetos e diz respeito à análise de resultados provenientes das rotinas de verificação. Esta análise de resultados é normalmente exportável para formato XLS para posterior análise detalhada. Existem normalmente 3 tipos de resultados provenientes desta análise:

- “VALIDADO”
- “NÃO VALIDADO”
- “INDEFINIDO/ERRO”

As primeiras dizem respeito às condições de projeto que estão de acordo com o conjunto de regras a verificar, no entanto estas têm de ser posteriormente avaliadas de maneira a garantir a integridade da análise efetuada. No que diz respeito às condições que não estão de acordo com as regras a aplicar, ou seja, os resultados do tipo “NÃO VALIDADO”, serão objetos de uma análise detalhada para posterior modificação no modelo de projeto e, conseqüentemente no modelo de verificação para nova validação automática. Este ciclo de processos de verificação estabelece uma garantia de qualidade tanto do modelo, como da própria verificação automática, conforme a Fig. 5 [12].

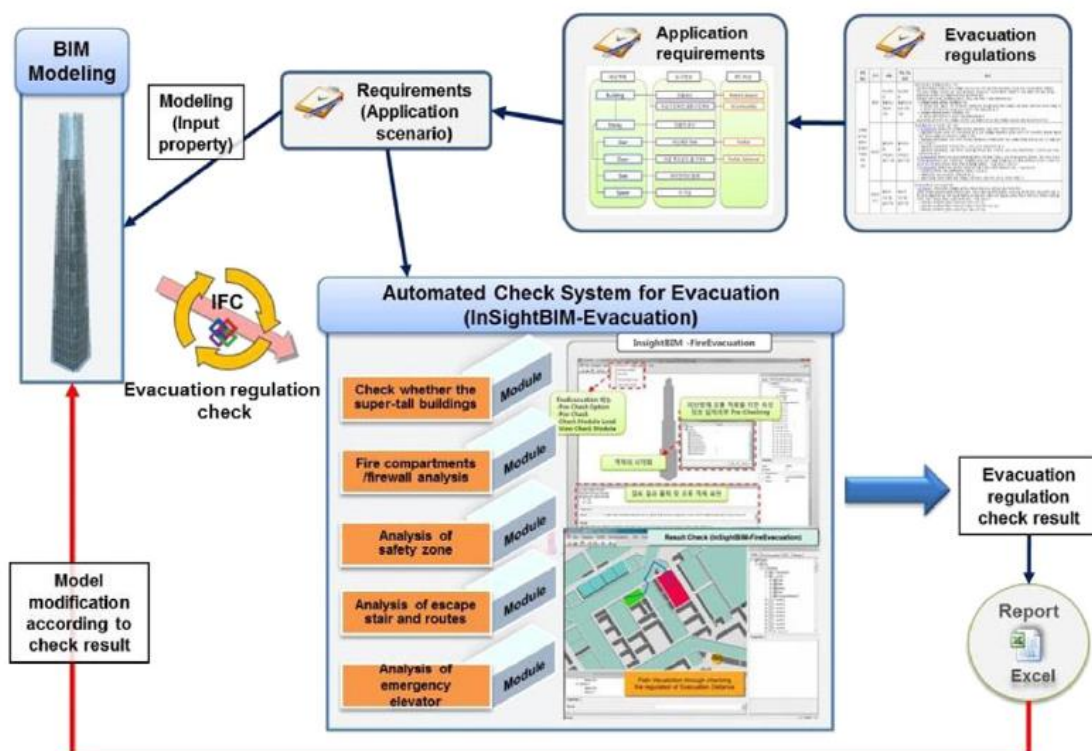


Fig. 5 – Processo de qualidade da Verificação Automática de Projetos (caso aplicado à verificação de sistemas de evacuação em edifícios) [12]

Quanto ao terceiro tipo de resultado – “INDEFINIDO/ERRO” – ocorre caso não seja possível correr a verificação por vários motivos, como por exemplo, a não definição de propriedades, nome, classificações ou objetos sujeitos à análise automática.

No que diz respeito às regras “NÃO VALIDADAS”, as mesmas podem ser aceites ou rejeitadas pelo projetista por vários motivos. Caso a regra “NÃO VALIDADA” se trate de um erro da própria aplicação de verificação automática ou até mesmo um caso excecional, a mesma pode ser rejeitada pelo projetista, passando assim a “VALIDAR” a regra que anteriormente não tinha sido aceite pela aplicação de verificação automática. As estas regras devem, também, ser atribuídas responsabilidades pela sua correção no modelo de projeto através da realização de um relatório de resultados. Neste relatório de resultados devem estar incluídas informações como: localização da regra, comentário explicativo, medidas para sua correção, atribuição de responsabilidades à sua correção, grau de severidade da regra violada e um esquema representativo do problema. Algumas aplicações, como por exemplo o SMC, já permitem a criação destes relatórios de uma forma automática e intuitiva com a possibilidade de exportação para diferentes formatos.

Como foi referido em 2.2.2, todas as regras definidas estão associadas ao respetivo objeto, classe ou grupo a que se referem no modelo de verificação. Uma simples regra (por exemplo de um decreto regulamentar) pode ser aplicada a centenas ou a milhares, dependendo do modelo em estudo, de instâncias de objetos pertencentes à mesma classe, como por exemplo portas ou janelas individuais. Como tal, cada um destes exemplos tem de ser discriminado na verificação automática e na respetiva análise de resultados. Por exemplo, se um decreto de lei se aplica a todas as portas de salas de aula da FEUP, então todas as salas de aulas da FEUP têm de ser incluídas na verificação, assim como na respetiva análise.

Na análise de resultados é importante que associada à localização do erro na validação automática, esteja a regra a ela aplicada. Isto requer a realização de um mapeamento, no sentido inverso, desde a interpretação da regra até descrição textual da mesma. Os parâmetros de instância local e o texto que define a regra violada são os elementos básicos obrigatórios de uma análise de resultados. Análises mais elaboradas envolvem a explicação da não validação da regra, com apresentação dos parâmetros dos códigos de exemplo relevantes, ou possíveis correções para correção da não validação [4]

2.3 INICIATIVAS EM CURSO

Neste capítulo é apresentado um conjunto de cinco iniciativas desenvolvidas no âmbito da Verificação Automática de Projetos, algumas aplicadas ao seu licenciamento, cada uma analisada detalhadamente nos subcapítulos seguintes. É importante referenciar que a maior parte das iniciativas, ainda se encontram em desenvolvimento e, como tal, alguns aspetos do trabalho desenvolvido ainda não se tornaram públicos. Sendo assim, com base na informação recolhida em artigos científicos e casos de estudo realizados tenta-se o mais possível apresentar as cinco iniciativas com o maior detalhe e com uma abordagem o mais técnica/científica possível.

2.3.1 CORENET - SINGAPURA

O projeto CORENET foi a primeira iniciativa desenvolvida no âmbito da Verificação Automática de Projetos com vista ao seu licenciamento, sendo iniciada em 1995 pelo Ministério Nacional de Desenvolvimento de Singapura, na altura denominado BP-Expert. O projeto consiste numa plataforma, para submissão de dados online para verificação e posterior licenciamento de projetos, composta por 3 módulos distintos: CORENET e-Submission, CORENET e-PlanCheck e o CORENET e-Info.

O e-Submission é o módulo de submissão dos dados de projetos, para posterior aprovação pela entidade licenciadora, automatizando assim, o processo de entrega dos projetos de licenciamento, e permitindo a redução de tempo e custos. Inicialmente a submissão solicitada era através dos projetos dos edifícios em 2D, passando mais tarde, a partir de 1998, a ser requerida informação adicional em modelos de informação em formato IFC. A e-Info é o módulo que providencia, tanto informação sobre a plataforma para consulta online, como informações sobre a legislação, processos padrão, catálogos, entre outras informações úteis sobre o sector da construção de Singapura. Contudo, apenas o segundo módulo, o e-PlanCheck, tem interesse para o desenvolvimento desta dissertação.



Fig. 6 - Módulo e-Submission do projeto CORENET

O e-PlanCheck é plataforma que realiza a verificação automática dos regulamentos em vigor pelo governo de Singapura. Esta verificação é feita através do programa, descrito no capítulo 3.2.3., FORNAX. Este software, conforme detalhado no capítulo mencionado, é um software que contém uma biblioteca de objetos, programados em linguagem C++, que contém a informação relevante para a verificação automática dos regulamentos em vigor, assim como as regras a que esses objetos são aplicados. O e-PlanCheck é considerado o único sistema operacional no que diz respeito ao Licenciamento Automático de Projetos, no entanto a velocidade do seu desenvolvimento atual é pequena quando comparada com a disseminação das mais recentes tecnologias BIM.

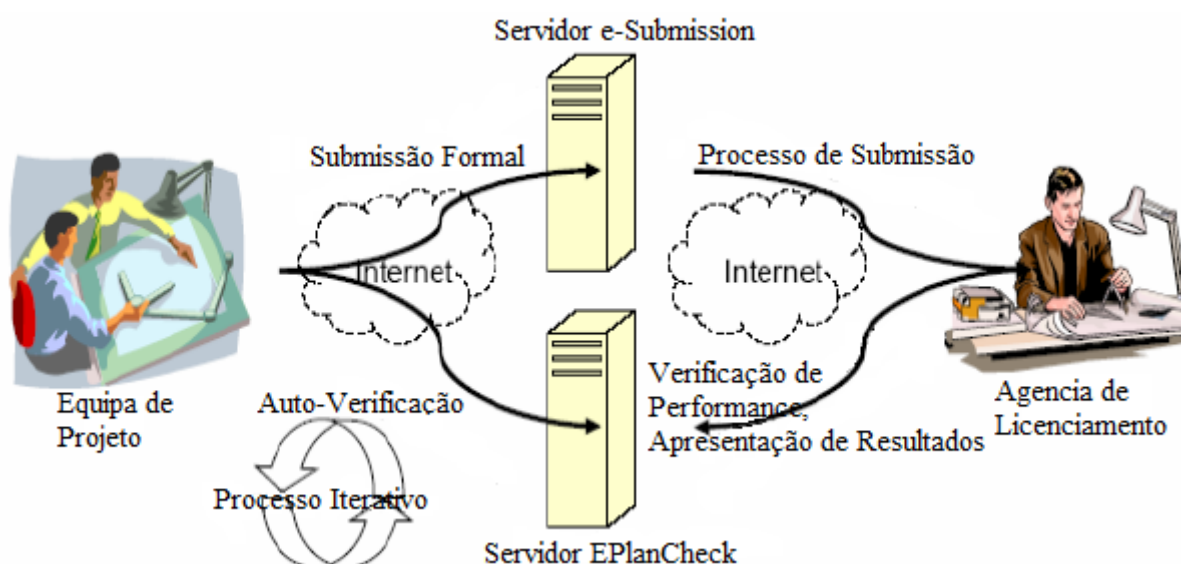


Fig. 7 – Processo de Verificação Automática de Projetos no CORENET

A verificação automática no CORENET é executada em 3 fases (Eastman 2009):

- Verificação das regras com a informação contida no modelo IFC;

- Verificação das regras com a extensão do conjunto de propriedades para o IFC;
- Verificação das regras com informação derivada do modelo IFC.

Conforme já mencionado, de maneira a definir e a verificar as propriedades alargadas de determinadas entidades dentro do modelo, o CORENET utiliza o sistema FORNAX. A estrutura do FORNAX contém objetos que estendem a informação do modelo IFC, de maneira a providenciar a informação necessária, para a verificação das disposições regulamentares. Cada objeto do FORNAX apresenta diversas funções para recuperar propriedades solicitadas do modelo IFC. A Fig. 8 mostra um exemplo de um objeto do FORNAX e as suas respetivas funções. Pelo simples facto de usar objetos do FORNAX, um programador não necessita de desenvolver algoritmos específicos para recuperar a informação do modelo IFC. Através da adoção dos objetos do FORNAX e das suas funções membro, uma disposição regulamentar escrita em linguagem humana é facilmente interpretada com vista à sua programação.

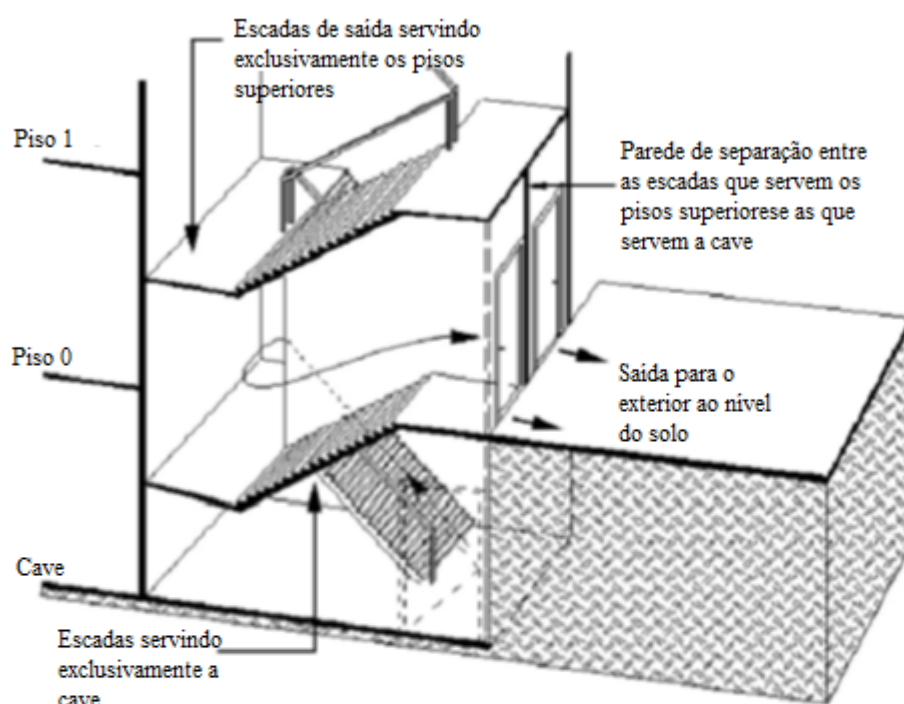
Os objetos do FORNAX são definidos para capturar a semântica de regras específicas. Deste modo, os objetos e as suas funções recuperam atributos do objeto dependendo do tipo de regra, isto é, o funcionamento dos objetos e dos seus atributos, num projeto de um hospital, não é o mesmo que de um edifício de escritórios.

O FORNAX utiliza o OpenCASCADE e o ACIS solid kernels, que são softwares de modelação 3D utilizados para desenvolvimento de aplicações do tipo CAD (*Computer-Aided Design*), CAE (*Computer-Aided Engineering*) e CAM (*Computer-Aided Manufacturing*), para recuperar e estruturar a informação geométrica requerida do modelo IFC.

No CORENET a implementação das regras é realizada através do uso de propriedades e funções definidas e acedidas através dos objetos do FORNAX.

No que diz respeito à análise de resultados, o e-PlanCheck tem a capacidade de apresentar os resultados através de uma página web. A própria plataforma gera o relatório da verificação com referência à regra de origem a qual foi aplicada. O e-PlanCheck tem a possibilidade de apresentar o relatório de verificação em diversos formatos tais como: (1) HTML, apresentado numa página web; (2) Word ou formato PDF; (3) e em formato gráfico, no FORNAX Viewer.

Conforme já foi referido, este projeto foi o primeiro incentivo no âmbito do Licenciamento Automático de Projetos, e consequentemente o mais desenvolvido até ao momento. É de conhecimento público que atualmente mais 2500 empresas, incluindo arquitetos, engenheiros, topógrafos e outros profissionais utilizam o CORENET para submeter os seus projetos para o governo de Singapura. Com provas dadas ao nível do Licenciamento Automático de Projeto, esta iniciativa serviu de ponto de partida a muitos outros casos neste âmbito, como se pode ver de seguida.



ExistStaircase Shaft	
Métodos	Descrição
IsPressurized	Verifica se a caixa de escadas de saída necessita de pressurização
GetFireRating	Obter a classificação ao fogo da caixa de escadas de saída
GetDischargeLevels	Vai buscar todos os níveis de evacuação da caixa de escadas. Calcula o nível de evacuação mais próximo através da caixa de escadas para um dado piso
MinStaircaseWidth	Calcula a largura mínima das escadas entre quaisquer 2 pisos
SwingDirection	Calcula para uma determinada porta a direção de oscilação da mesma para a respetiva caixa de escadas

Fig. 8 – Um exemplo de um objeto do FORNAX – *ExitStaircaseShaft* – *Singapore Civil Defense Fire Code* [4]

2.3.2 STATSBYGG – PROJETO HITOS – NORUEGA

A Statsbygg é uma organização governamental norueguesa que gere as partes centrais do sector imobiliário e da construção pública no país. Esta organização é responsável pela condução de diversos projetos na área dos BIM, procurando assim contribuir para a investigação e desenvolvimento de projetos em BIM, em modelos de informação IFC, introduzindo gradualmente o uso desta ferramenta no ciclo de vida das construções [13].

Em Novembro de 2000, com base no trabalho desenvolvido no CORENET *e-PlanCheck*, foi iniciado o projeto ByggSok. Este sistema é composto por 3 módulos distintos: (1) um sistema de informação (*e-Information System*) para a publicação da informação necessária à preparação dos projetos de construção; (2) um sistema de submissão eletrónica (*e-Submission*), para submissão de projetos via Internet; (3) e um sistema para propostas de zoneamento (*e-System for Zoning Proposals*), para comunicação entre o dono de obra e a entidade governamental. Atualmente o trabalho que está a ser desenvolvido no âmbito foca-se em questões de classificação, terminologias e normalização da verificação de regulamentos a nível internacional [5].

Um dos projetos piloto mais promissor na Verificação Automática de Projetos, desenvolvido no sistema ByggSok foi o projeto HITOS, com aplicação em 2 áreas com características distintas: (1) avaliação do programa espacial, com a plataforma de planeamento e gestão dRofus; (2) e avaliação de acessibilidades em edifícios, com o SMC. Neste projeto foram utilizados vários softwares de acordo com a sua função no projeto integrado: ArchiCAD para o projeto de arquitetura, ADT para o projeto de estruturas, DDS (*Data Design System*) para o projeto de MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*), Octaga para a visualização do modelo, NOIS G-PROG para estimativa de custos, Grandlund Riuska para simulação energética e o Powel Gemini 3D Terrain para modelação do terreno.

Na Fig. 9 apresenta-se uma visão geral que ilustra o conjunto de processos levado a cabo por este projeto para a Verificação Automática de Projetos em modelos de informação IFC.

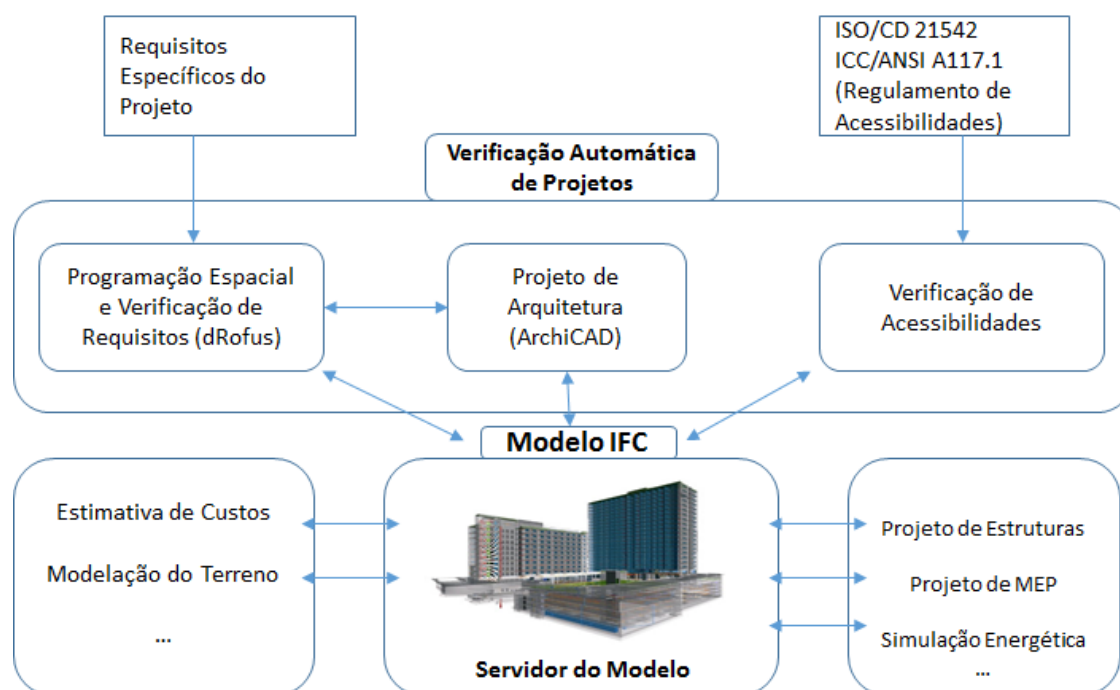


Fig. 9 – Visão geral do processo de verificação automática no projeto HITOS [4]

Relativamente à verificação dos requisitos espaciais, em modelos IFC, no projeto HITOS, a aplicação dRofus, tal como foi mencionado anteriormente, é usada para esse propósito, especificamente para regras específicas de edifícios em particular, geridas por equipas diferentes dentro de um repositório central. Esta aplicação utiliza uma plataforma web para cada projeto dentro do servidor do modelo. A aplicação dRofus é, deste modo, um sistema de base de dados para gestão de programas de arquitetura de edifícios, requisitos técnicos/funcionais, e equipamento desde o planeamento inicial até ao projeto geral do edifício. A aplicação apresenta uma interface para gestão de informação espacial numa estrutura tipo árvore e compara a informação planeada com a informação atual do modelo IFC, na mesma interface. A aplicação recebe informação não gráfica de diferentes modelos de edifícios à medida que vão progredindo, mas não permite ela própria a manipulação e visualização da geometria do edifício. Atributos detalhados, propriedades e valores associados podem ser manipulados e exportados através da interface do dRofus. A mesma, geralmente, não requer a interpretação das regulamentações, na medida em que é uma aplicação dedicada um tipo de regras específico (regras espaciais). O software suporta entidades IFC do tipo *IfcSpace* e *IfcZone*, assim com vários atributos associados.

O outro módulo do projeto HITOS diz respeito à avaliação de acessibilidades em edifícios com o SMC. As regras de acessibilidades a verificar no SMC dizem respeito a regras derivadas das seguintes normas internacionais: (1) *International ISSO/CD 21542*; (2) *International Code Council ICC/ANSI A117.1*. O SMC apresenta por defeito várias regras parametrizadas derivadas destas normas, incluindo regras de acessibilidade para cadeira de rodas, escadas, rampas e dimensões de portas. No processo de verificação de normas de acessibilidades, as disposições normativas são traduzidas em estruturas de tabelas paramétricas.

Quando um dado modelo IFC é preparado, o SMC recupera as regras associadas aos objetos do modelo e a sua informação geométrica. A partir das regras parametrizadas, o sistema recebe o mapeamento entre os objetos do modelo e os valores necessários, codificados em equações a ser verificadas. Igualmente os valores correspondentes às regras podem ser ajustados, ou serem usados os valores pré-definidos no programa, derivados da norma ISSO/CAD 21542. Tal é necessário quando se quer adaptar regras a normas nacionais ou outras que não a norma ISO.

Resumidamente, a base de dados de verificação de espaços do dRofus tem como papel o planeamento espacial, incluindo também funções de *Facility Management* do edifício. Ela depende, essencialmente, da informação espacial do modelo IFC e de aplicações comerciais ligadas diretamente ao projeto HITOS. Quanto à verificação de acessibilidades no projeto HITOS, a mesma, é baseada nas regras paramétricas do SMC, sendo que algumas regras de acessibilidade foram desenvolvidas especificamente para este projeto. Na última versão do SMC foram já lançadas extensões de *rulesets* para regras de acessibilidade ISO usadas no projeto HITOS. Um estudo realizado pela Statsbygg divulgou que a verificação automática destas mesmas regras de acessibilidade reduzem cerca de 60% a 70% dos erros e deficiências no projeto [4].

2.3.3 DESIGNCHECK – AUSTRALIA

A primeira iniciativa na Austrália, neste sentido, foi a criação de uma aplicação comercial, a BCAider, desenvolvida pela *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)* - Comunidade Científica e Organização de Investigação Industrial. A aplicação é um tipo de sistema baseado em conhecimento, que tem como função base a prestação de assistência na verificação de conformidade de projetos de construção, de acordo com o Regulamento da Construção Australiana – *Building Code of Australia (BCA)*. No entanto, a produção e respetiva distribuição deste software cessou em 2006.

Mais tarde, neste país, foi desenvolvida uma iniciativa, no mesmo sentido, com o nome de DesignCheck, iniciada pela *Cooperative Research Centre for Construction Innovation* – Centro de Investigação Cooperativa para a Inovação na Construção - e também desenvolvida pela CSIRO e pela Universidade de Sidney. Com perfil idêntico ao projeto HITOS (Noruega), na medida que foca a verificação automática em projetos de acessibilidades, a arquitetura do sistema é baseada no *EDM Model Server* como plataforma central, atuando como gestor do modelo, codificador das disposições regulamentares e correndo essa mesma verificação. A aplicação EDM foi escolhida em alternativa ao SMC, como plataforma de verificação automática, na medida em que providencia um sistema de especificação das disposições regulamentares mais flexível, permitindo a codificação das regras escritas manualmente em linguagem de programação EXPRESS.

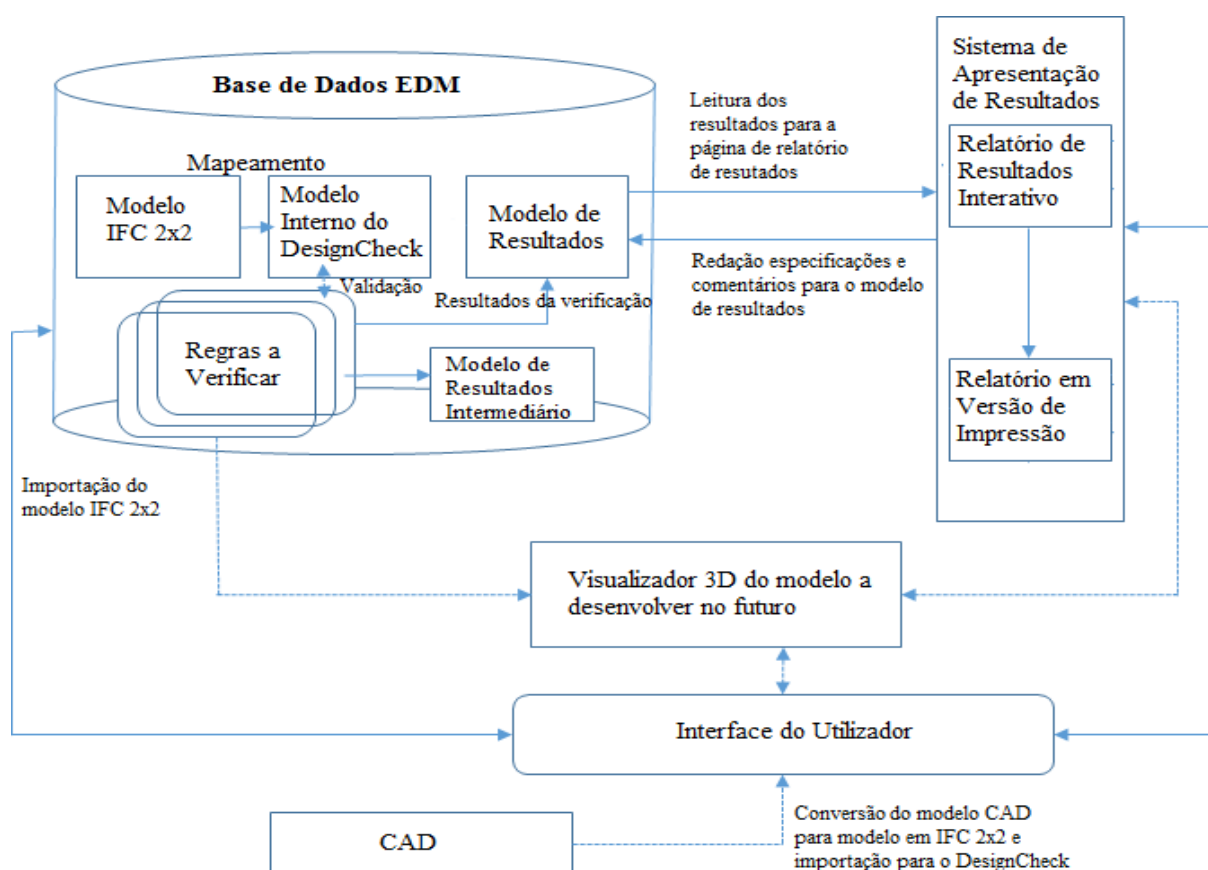


Fig. 10 – Arquitetura do sistema do DesignCheck [4]

O modelo de projeto criado é importado em formato IFC2x2, para o DesignCheck, para posterior verificação automática. Fazendo uma analogia com o corpo humano, a base de dados incluída no EDM é como uma espécie de cérebro do sistema. Ela inclui as tarefas base do sistema DesignCheck. Com efeito, são definidos dois esquemas de modelos de informação na base de dados do EDM: o esquema do modelo IFC2x2 e o esquema do modelo interno do DesignCheck. O esquema do modelo IFC 2x2 permite que o modelo do edifício seja importado para a base de dados do EDM em formato IFC2x2. O esquema do modelo interno do DesignCheck contém informação específica da aplicação, isto é a informação requerida pelas disposições regulamentares. Neste âmbito, é desenvolvido um esquema mapeado, de maneira a permitir que o modelo IFC2x2 seja transportado para o modelo interno do DesignCheck automaticamente. O modelo interno do DesignCheck é então validado de acordo com as regulamentações daquele país. Como se verá adiante, as regras interpretadas são orientadas por objetos e por requisitos de performance [10].

O sistema de resultados tem uma interface direta com a base de dados do EDM, que lê os resultados provenientes da verificação e regista as especificações/comentários ao modelo de resultados. Tal como será analisado em detalhe adiante, assim que a verificação for completa, aparece ao utilizador uma página de análise de resultados interativa, oferecendo uma grande variedade de opções relativas à visualização dos resultados da verificação, permitindo ao utilizador filtrar os resultados de acordo com as regras “VALIDADAS”, “NÃO VALIDADAS”, “TODAS” ou “REQUERIDA ESPECIFICAÇÃO” – na realidade os resultados no programa aparecem em inglês segundo as seguintes terminologias: “COMPLIANCE”, “NON-COMPLIANCE”, “ALL” e “SPECIFICATION REQUIRED” – assim como acrescentar as especificações requeridas dos objetos e respetivos comentários.

A implementação das disposições regulamentares deste país no EDM Model Server depende de técnicas específicas orientadas por objetos. A mesma apresenta uma estrutura de implementação caracterizada por: (1) descrição; (2) requisitos de performance; (3) objetos; (4) propriedades; (5) relações; (6) e conhecimento específico de domínios para interpretação. Estas descrições mencionadas fornecem uma espécie de declaração escrita das disposições regulamentares a ser interpretadas pela aplicação. Seguidamente, estas declarações são traduzidas numa espécie de requisitos de performance para, posteriormente, ser introduzida na aplicação. Esta tradução das disposições para requisitos de performance facilita bastante a conversão da disposição regulamentar, relacionando intuitivamente os objetos com as relações correspondentes. De maneira a interpretar tais requisitos, os objetos e as respetivas propriedades são extraídas do modelo de informação para posterior análise desses requisitos. Este processo é exemplificado na Fig. 11.

<p>CLAUSE 7: DOORWAYS, DOORS AND CIRCULATION SPACE AT DOORWAYS</p> <p>Clause 7.1 Provision of Entrances</p> <p>Description: The requirements for entrances to buildings are as follows: (a) Accessible entrances shall be incorporated in an accessible path of travel.</p> <p>Performance Requirements: There is an uninterrupted path of travel from an accessible entrance to an accessible space required.</p> <p>Objects: {Space, Door}</p> <p>Object Properties: {Door_external, Door_accessible, Door_type, Door_width, Space_accessible, Space_identification, Space_area}</p> <p>Object Relationship: {Contain (Space, Door)}; {Adjacent (Space, Space)}</p>	<p>Domain-specific knowledge for Interpretation: (to be implemented with functions, procedures, etc.)</p> <p>AccessibleExteriorDoor (Doors) (IF Door_external and Door_accessible are found, THEN return AccessibleExteriorDoors)</p> <p>AccessibleEntranceSpace (AccessibleExteriorDoors) (IF AccessibleExteriorDoors are contained by Spaces, THEN return AccessibleEntranceSpaces)</p> <p>AccessibleSpaceRequired (Spaces) (IF Space_accessible is found, THEN return AccessibleSpacesRequired)</p> <p>A_Path_from_AccessibleEntranceSpace_to_AccessibleSpaceRequired (Spaces, Doors) (IF Spaces and Doors are located in the path from AccessibleEntranceSpace to AccessibleSpaceRequired, THEN return a set of the Spaces and a set of the Doors)</p> <p>Criteria_for_anUninterruptedPath (IF Spaces and Doors located in the path satisfy the requirement of Door_width, Door_type, Space_area, etc. THEN return TRUE)</p>
--	--

Fig. 11 – Um exemplo de uma interpretação orientada por objetos de um artigo regulamentar australiano [10]

O *EDModelChecker* usa a linguagem EXPRESS para definir a estruturação das regras. Neste processo é definido uma espécie de pré-código relevante para a interpretação do conhecimento específico de domínios, que posteriormente é codificado em linguagem EXPRESS. Todos os objetos, as suas propriedades e relações incluídos nas disposições regulamentares, são representadas no modelo de informação IFC.

No caso da regulamentação de acessibilidades em estudo por esta iniciativa – AS 1428.1 (*Australian Standard “Design for access and mobility”*) –, a mesma requer a determinação de parâmetros mais qualitativos que quantitativos, ou seja, neste caso são necessários parâmetros definindo um espaço como “acessível” em vez de calcular, por exemplo, a “distância de circulação”. Com efeito, para definir um espaço como acessível é necessário referenciá-lo como “acessível”, assim como todos os espaços adjacentes a este que apresentam uma abertura acessível. Tal tem que ser aplicado a todo o modelo IFC de maneira a referenciar todos os espaços como acessíveis, através da colocação de um “tag” em cada espaço ou através do uso de um sistema de classificação normalizado.

Como em quase todos os casos, é necessário executar uma pré-verificação das regras de maneira garantir a elegibilidade da informação contida no modelo, para posterior aplicação das regras na verificação automática final.

Relativamente ao relatório final de resultados da verificação automática, o mesmo é gerado em formato textual através das funções existentes no EDM, podendo ser salvas em formato XML ou HTML. O programa providencia um sistema de geração de relatórios de resultados interativo, através

da apresentação do resultado da verificação automática para cada disposição regulamentar detalhadamente ou para o tipo de objeto selecionado (Fig. 12). De acordo com a Fig. 12 é possível ver a informação obtida no painel de resultados da verificação automática aplicada a cada artigo regulamentar, com o tipo de resultado obtido para cada um deles. O relatório de resultados interativo permite aos utilizadores selecionar o tipo de resultado que pretendem visualizar e posteriormente atualizar o modelo de licenciamento, ao adicionar especificações de objetos e comentários (Fig. 13). A aplicação permite obter uma versão de impressão do relatório de resultados através de um link direto à página de resultados interativa, na barra “Printer Friendly”.

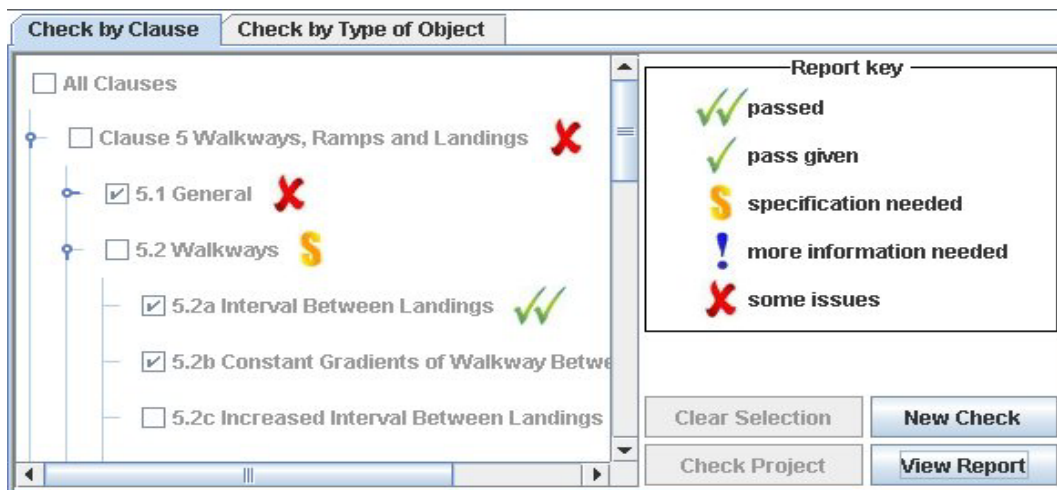


Fig. 12 – Interface de visualização gráfica do relatório de resultados do DesignCheck [10]

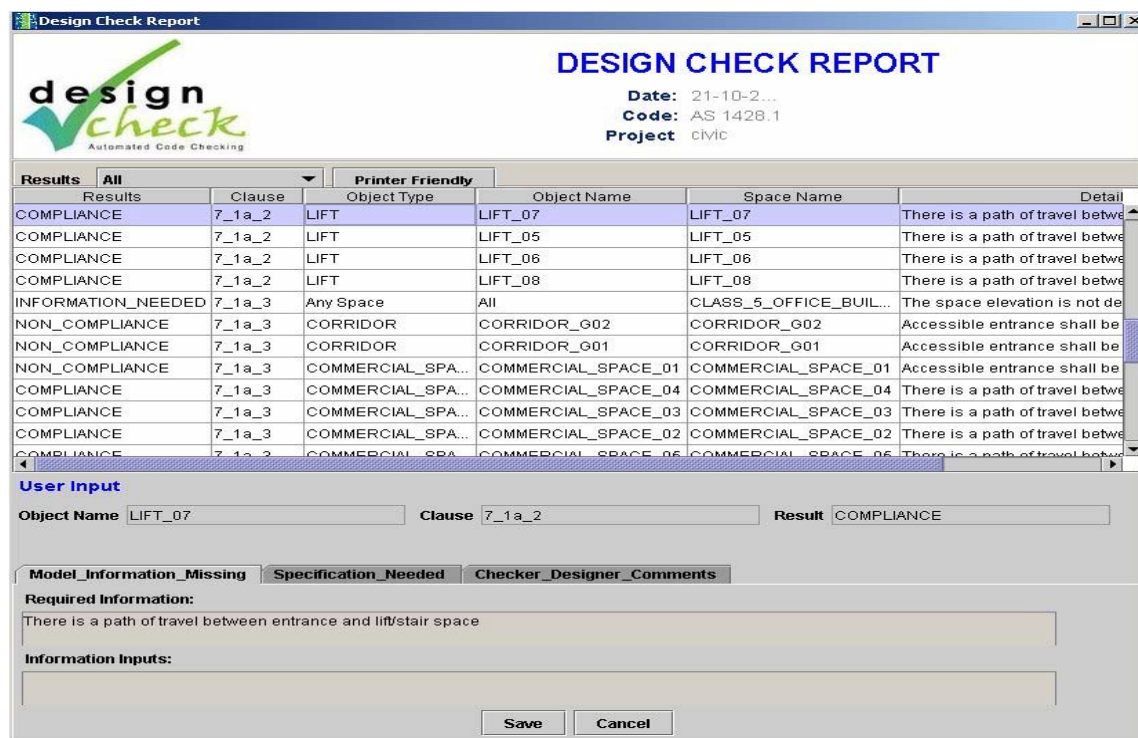


Fig. 13 – Página interativa de apresentação dos resultados da verificação automática [10]

2.3.4. GENERAL SERVICES ADMINISTRATION (GSA) E INTERNATIONAL CODE COUNCIL (ICC) – ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

2.3.4.1. International Code Council (ICC) – SMARTcodes

Nos EUA, a iniciativa mais evidente no âmbito da verificação automática de regulamentações foi desenvolvida pela *International Code Council* (ICC) em conjunto com a AEC3 e a Digital Alchemy (DA), com o nome de SMARTcodes. A ICC é uma associação fundada em 1994, que se dedica tanto à segurança em edifícios, como à segurança contra incêndios. A mesma elabora os respetivos regulamentos usados em edifícios residenciais e comerciais na maior parte das cidades e estados dos EUA.

O projeto SMARTcodes foca-se essencialmente na transformação das regulamentações escritas em linguagem humana para linguagem informática, de maneira a poderem ser verificadas automaticamente numa aplicação BIM, ou seja, dedica-se a estabelecer definições básicas para processos automatizados de verificação de conformidade regulamentar nos EUA. Geralmente este processo é considerado um processo moroso que, não só requer um grande esforço de interação entre as entidades oficiais que redigem as regulamentações, como de quem desenvolve as aplicações de verificação automática. De maneira a simplificar este processo, o projeto SMARTcodes desenvolveu uma metodologia para referenciar as cópias em linguagem informática das regulamentações através de um dicionário de referências [14].

Através do SMARTcodes builder, que é uma aplicação web que facilita a execução do sistema, é garantida a redução dos erros que ocorrem durante a interpretação dos decretos de lei originais. O mesmo SMARTcodes builder identifica as frases chave de cada disposição regulamentar e o seu papel lógico, depois a frase é formalizada através dos termos presentes no dicionário.

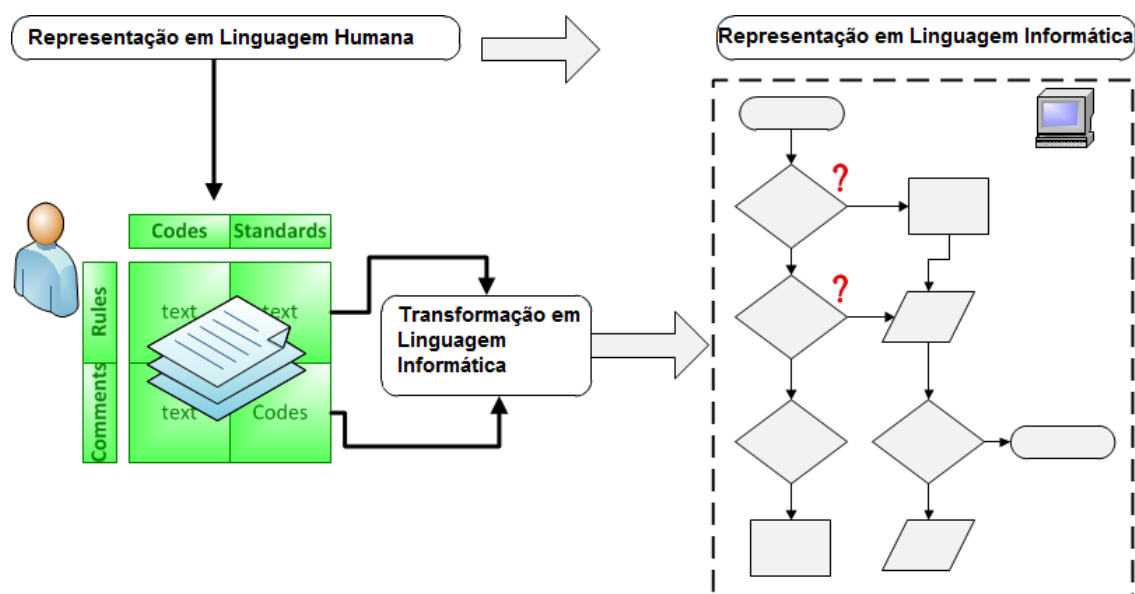


Fig. 14 – O conceito do SMARTcodes

Os regulamentos são interpretados pelo SMARTcodes builder, através do dicionário referido, que descreve as propriedades associadas a cada termo, a enumeração das propriedades, tipos de informação a introduzir e as unidades associadas a cada propriedade. O dicionário não só é usado para a interpretação de regras, como também na comunicação entre sistema de verificação automática da

SMARTcodes e o modelo IFC. As propriedades dos objetos do modelo IFC definidas no dicionário fornecem as MVD necessárias para a verificação automática.

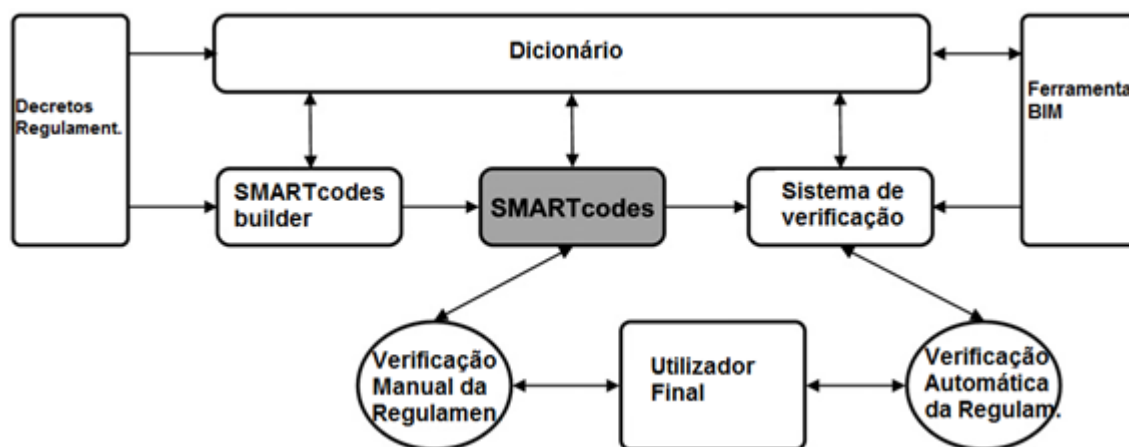


Fig. 15 - Estrutura base de um sistema de verificação automática baseado no SMARTcodes [4]

Atualmente, existe um sistema SMARTcodes para o Solibri Model Checker, desenvolvido pela *Digital Alchemy* e pela AEC3 XABIO, que suporta a verificação automática das disposições regulamentares. Os serviços web deste sistema requerem a introdução de alguns valores, tais como: o modelo de licenciamento, a regulamentação a ser verificada e o sistema de verificação automática. De acordo com a informação bibliográfica [2], atualmente não existe nenhuma aplicação destes métodos de verificação automática a funcionar em situações reais. Neste momento, o projeto encontra-se numa fase inicial de desenvolvimento. De acordo com o ICC, nesta fase estão a ser desenvolvidas formas de verificação para disposições regulamentares que sejam consideradas de análise simples. Só no futuro serão abordadas as disposições regulamentares cuja verificação careça de algum cálculo, neste caso, a realizar por aplicações externas. O objetivo final será a verificação automática de todos os regulamentos aplicáveis à construção a partir de um modelo BIM submetido pelo projetista.

O relatório de resultados é gerado pelo módulo do software de verificação automática no SMARTcodes. O software fornece ao utilizador os resultados da verificação efetuada em várias alternativas de formatos possíveis, tais como: HTML, RTF, XLS e XML. Os resultados da verificação incluem sumários em tabelas que indicam a “VALIDAÇÃO” ou a “NÃO-VALIDAÇÃO” da regulamentação. Um exemplo deste relatório de resultados é apresentado na Fig. 16, sendo que o relatório de cima corresponde ao software SMC e o de baixo ao AEC3 XABIO. É também fornecida informação detalhada das regras violadas, incluindo pormenores gráficos dos elementos do modelo em violação à regulamentação (Fig. 16). Incluído no relatório de resultados estão presentes as razões para a “NÃO-VALIDAÇÃO” da disposição regulamentar, conforme se pode averiguar na parte inferior da Fig. 16 (resistência térmica da parede insuficiente). A informação da localização da parede é também automaticamente visualizada na interface de visualização gráfica do modelo, conjuntamente com uma referência textual explicativa da não verificação da disposição regulamentar. Quanto ao software AEC3 XABIO, o mesmo fornece um relatório que remonta ao artigo regulamentar violado, fornecendo uma explicação lógica, passo a passo, da não validação do artigo.

Section Title		Summary Comments	
IECC 502 Building Envelope Requirements			
502.1.1 Insulation and fenestration criteria		Passed	
502.2(1) Building Envelope requirements - Opaque Assemblies		Issues	
(502.2.3 Above grade walls)		Not checked	
(502.2.4 Below grade walls)		Not checked	
502.3.2 Building envelope requirements - Fenestration		Passed	
(502.4.1 Air leakage - Windows & Doors)		Not checked	
(502.4.2(a) Air leakage - curtain walls/storefronts)		Not checked	
(502.4.2(b) Air leakage - entry doors)		Not checked	
(502.4.4 Outdoor air intake & exhaust)		Not checked	
(502.4.5 Loading dock weatherseals)		Not checked	
502.4.6 Vestibules		Passed	
502.4.7 Recessed luminaires		Passed	
502.5 Moisture control		Passed	

Submission : LBNL Office Bldg		Version : 20080724131809	
PROJECT : Default Project			
Description : Default Project Submission#1			
Building : Default Building			
Site : Default Site Site#1			
Jurisdiction : Atlanta		Climate Zone :	3 moist (33.749 deg, -84.388 deg, 12600.000 INCH (320.040 m) approx)
State : Georgia		Geospatial :	(0.0, 0.0, 0.0 INCH) (0.000, 0.000, 0.000 m)
Identifier : 3QawSRYvrBxwBevYaR8Ux6		Position :	
Feedback : Provide Feedback			
Inspector : John Smith			
Topic :	Comment :	Details :	Citation :
WALLSTANDARDCASE	Opaque Envelope may be passed by altering thermal resistance of Insulation of Wall-27 Wall#1 South to more than or equal to 13 R	Wall-27 Wall#1 South	ICC IECC2006 502 21T Opaque Envelope
WALLSTANDARDCASE	Opaque Envelope may be passed by altering thermal resistance of Insulation of Wall-27 Wall#2 South to more than or equal to 13 R	Wall-27 Wall#2 South	ICC IECC2006 502 21T Opaque Envelope
WALLSTANDARDCASE	Opaque Envelope may be passed by altering thermal resistance of Insulation of Wall-27 Wall#4 North to more than or equal to 13 R	Wall-27 Wall#4 North	ICC IECC2006 502 21T Opaque Envelope
WALLSTANDARDCASE	Opaque Envelope may be passed by altering thermal resistance of Insulation of Wall-27 Wall#5 North to more than or equal to 13 R	Wall-27 Wall#5 North	ICC IECC2006 502 21T Opaque Envelope

Fig. 16 – Relatório de resultados da verificação automática (parte superior: SMC; parte inferior: AEC3 XABIO) [4]

Resumidamente, o projeto SMARTcodes, é uma nova abordagem aos sistemas de Verificação Automática de Projetos em desenvolvimento, ao adotar uma abordagem bastante abrangente às tarefas de verificação automática. As regulamentações são transpostas a partir do SMARTcodes builder de maneira formal e rigorosa, de modo a facilitar a criação semi-automática de rotinas de verificação de disposições regulamentares [4].

2.3.4.2. General Services Administration (GSA)

Um dos primeiros grandes esforços para a disseminação dos BIM nos Estados Unidos da América partiu da *General Services Administration* (GSA) – Administração de Serviços Gerais – que é responsável pela construção e manutenção de todos os edifícios federais nos Estados Unidos da América, e que entretanto liderou várias iniciativas nesse sentido (*GSA BIM Program*). Em 2003, a GSA estabeleceu o Programa Nacional 3D-4D-BIM, sendo que mais tarde, em 2006, publicou várias normas/diretrizes BIM, e desde 2007, todos os projetos da GSA, que envolvem novas construções são obrigados a submeter informação num modelo BIM para posterior validação espacial do modelo.

Os novos projetos de construção para a GSA seguem um processo de desenvolvimento relativamente tradicional, com múltiplas fases tanto do projeto conceptual, como do desenvolvimento do projeto e dos respetivos documentos. A ferramenta de validação do programa espacial de um edifício permite às equipas de projeto da GSA verificarem automaticamente ou não a conformidade do projeto de acordo com o programa de validação espacial do GSA. Este programa estabelece um conjunto de requisitos estabelecidos pelo Congresso de Aprovação de Planos de Habitação dos EUA e pelo *PBS Business*

Assignment Guide. Estes requisitos incluem a medição de áreas e a medição de eficiência de edifícios (através de índices de eficiência próprios para o efeito). Tal como foi referido, todos os projetos da GSA, que envolvem novas construções, são obrigados a submeter informação num modelo BIM para posterior validação espacial do modelo, na fase final de conceção do projeto. Após submissão, a informação incluída no modelo de projeto BIM é rapidamente analisada e revista pela equipa de projeto da GSA.

Além das várias iniciativas revistas, a GSA criou um sistema de verificação regulamentar para validação da segurança e condições de circulação em tribunais dos EUA, com base em modelos IFC validados no SMC, com o nome de *Design Assessment Tool* (DAT) [15]. Para o desenvolvimento do DAT, as regras de circulação e de segurança foram extraídas do *U.S. Courts Design Guide* (CDG) – Guia de Projeto para Tribunais de Justiça -, que é uma espécie de guia interno para projetos de tribunais de justiça nos EUA, como por exemplo existe em Portugal no caso de projeto de hospitais. Estes guias são elaborados com base nas boas práticas ganhas na experiência de construção deste tipo de projetos.

Após análise detalhada dos artigos regulamentares da CDG, foram identificados 302 relacionados com as condições de circulação. Seguidamente, esses artigos foram agrupados de acordo com as condições similares entre eles, para posteriormente serem convertidos em linguagem interpretável pelo DAT. As regras de circulação presentes no CDG são parametrizadas em quatro níveis de condições: espaço de início, espaço intermédio, espaço de destino e espaço de transição. As condições do espaço incluem o nome do espaço e o nível de segurança (público, restrito ou seguro). Das condições de transição podem fazer parte: o nível de segurança; distância do caminho de circulação; acessibilidade vertical; entre outros. (Fig. 18) [4].

	Judiciary			US Attorney			USMS			Building		Building				
	Net	Usable	Circ%	Net	Usable	Circ%	Net	Usable	Circ%	Parking	Ver Pen	Usable	Common	Rentable	Gross	Efficiency
Ground Level	2,093	3,110	33%	0	0		12,622	16,978	26%	26,583	606	22,388	11,188	33,576	60,765	65.5%
Level 1	24,773	26,710	7%	30,417	30,637	1%	749	1,116	33%	0	1,447	62,635	10,095	72,730	74,177	84.4%
Level 2	40,747	51,966	22%	0	0		1,209	3,368	64%	0	6,847	55,334	9,404	64,738	71,585	77.3%
Mech Level	0	0		0	0		0	0		0	0	0	14,967	14,967	14,967	0.0%
Actual	67,613	81,786	17%	30,417	30,637	1%	14,580	21,462	32%	26,583	8,900	140,357	45,654	186,011	221,494	72.0%
Program	61,597	75,368	18%	23,615	30,700	30%	14,460	18,060	20%							67.0%
	Joint Use & Others															
	Net	Usable	Circ%													
Ground Level	2,176	2,300	5%													
Level 1	4,049	4,172	3%													
Level 2	0	0														
Mech Level	0	0														

Fig. 17 - Resultados da validação do programa espacial [4]

Start	Required	Destination	Transition Conditions	Rule R...
Name: prisoner vehicular sal...		Name: central holding facilities	Security Level: secure, Usage: circulation, Vertical Acces...	3 15 3
Name: central holding facilities	ALL Name: USMS elevator	Name: USDC courtroom	Security Level: secure, Usage: circulation, Vertical Acces...	3 15 3
Name: prisoner HLDG. CELL		Name: USDC courtroom	Security Level: secure, Usage: circulation, Route Length...	3 15 3
Name: prisoner HLDG. CELL		Name: Magistrate Judge co...	Security Level: secure, Usage: circulation, Route Length...	3 15 3
Name: control area		Na		
Name: control area		Na		
Name: sally port		Na		
Name: sally port		Na		
Name: USBC courtroom		Na		

On/Off	Condition	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Security Level	secure
<input checked="" type="checkbox"/>	Usage	circulation
<input type="checkbox"/>	Route Length	
<input type="checkbox"/>	Direct Access	
<input checked="" type="checkbox"/>	Vertical Access	allowed

Metric Route Method: GA Tech Method
 GA Tech Metric Route's Buffer: -11 13/16"
 Route Visualization: Metric Routes

Visualize Spaces OK Cancel

Fig. 18 - Parâmetros contendo a descrição das regras de circulação presentes no CGD [4]

A preparação do modelo é realizada com a definição de um modelo de informação através de uma ferramenta BIM, conforme a *GSA Series Six BIM Guide for Circulation and Security Validation*. O módulo de verificação depende intrinsecamente da normalização usada para o nome dos espaços, o que também determina o nível de segurança de todos os espaços designados, tal como definido no CDG. Na definição do conjunto de propriedades do modelo é associado a cada espaço uma zona de segurança. Na Tabela 1 são apresentados os requerimentos mínimos de informação a introduzir no modelo para verificação automática das condições de circulação.

Estes requerimentos são implementados como um módulo de pré-verificação através do SMC, onde as designações dos espaços, da segurança e os caminhos de circulação são pré-verificados.

Tabela 1 - Requerimentos mínimos para verificação das condições de circulação

Elemento do Modelo	Descrição
Espaço	A designação dos espaços deve ser definida segundo as convenções de nome de espaço do GSA BIM Guide.
Zona de Segurança	A zona de segurança deve ser definida como uma das seguintes opções: pública, restrita ou segura. Esta informação consegue ser definida na definição de propriedades para cada espaço.
Porta	Faz parte da parede. Porta adjacente a dois espaços usados para a verificação das acessibilidades.
Escadas	Introdução das entidades <i>IfcStair</i> e de <i>IfcRelContainedInSpatialStructure</i> . Uma escada deve estar contida num espaço. Uma escada deve ter componentes como patamar e lanço.
Rampa	Uma rampa deve estar contida num espaço como as escadas. A rampa deve incluir componentes como lanço e patamar
Elevador	Atualmente, os objetos dos elevadores são definidos através de nomes de espaços. Por exemplo o "elevador do juiz".
Parede	Não existe qualquer requerimento especial. Apenas necessário para a limitação de espaços

A implementação dos requisitos de circulação envolve a derivação de gráficos de circulação em todo o edifício (Fig. 19), identificando todos os espaços ocupáveis e sua interconetividade, definidos pelas paredes, portas, escadas, rampas, elevadores e limites entre espaços diretamente adjacentes (sem paredes separadoras). Através da estrutura dos gráficos o sistema de validação da circulação consegue verificar se os caminhos de circulação entre dois espaços do modelo satisfazem os dados requisitos.

Conforme já foi revisto neste capítulo, em todos os estudos/iniciativas no âmbito da verificação automática, é sempre necessário fazer uma pré-verificação do modelo de maneira a identificar erros de modelação, falta de dados ou problemas ontológicos antes da verificação final.

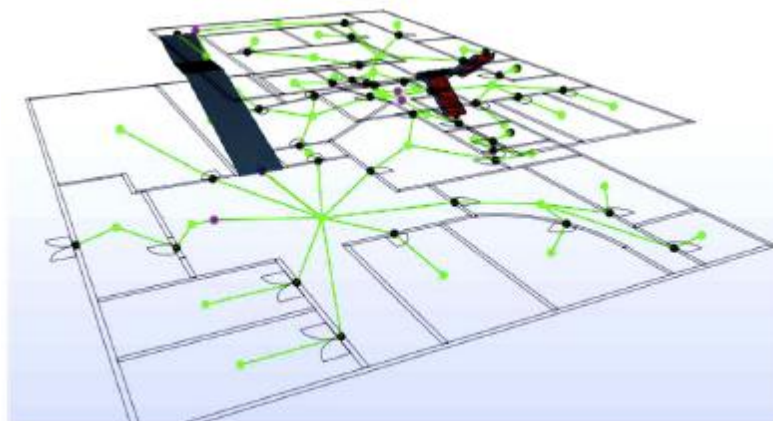


Fig. 19 – Derivação de gráficos de circulação de um edifício [4]

No que diz respeito à análise de resultados, o sistema desenvolvido pela GSA referencia todos os resultados, mostrando a linha, artigo, secção e capítulo da CDG. Os caminhos de circulação “NÃO-VALIDADOS” na verificação automática são visualizados na aplicação desenvolvida, através de um gráfico transversal, que determina o caminho entre o espaço de início e de destino do caminho em questão. Na visualização de tais gráficos, o sistema fornece a informação necessária ao utilizador sobre as regras não validadas, informação que inclui: pisos envolvidos, nome dos espaços envolvidos e o número dos espaços de início e de destino dos caminhos de circulação. Essa informação é transmitida através de uma mensagem de erro que fornece aos utilizadores informação detalhada de violação à regulamentação em causa.

Resumindo o que já foi analisado, a aplicação de validação do programa espacial é agora aplicada aos novos projetos de construção do GSA. A aplicação de verificação do CDG, que até agora apenas se focou em questões de segurança e circulação, depende da derivação de gráficos de análise da circulação baseados semanticamente na conectividade entre espaços, nos nomes dos espaços e nas zonas de segurança dentro de cada piso. Casa piso está ligado através de caminhos de circulação vertical, que também apresenta classes de segurança. A aplicação usa o software Solibri Model Checker como base, fazendo uso da família de regras presentes no programa. Atualmente, o DAT tem vindo a ser aplicado a muitos projetos de tribunais de justiça nos EUA. As operações que envolvem este programa são cerca de 90% automáticas.

2.4 REGRAS DE MODELAÇÃO

Uma regra é uma norma estabelecida por quem quer impor um padrão geral. Pela definição de um dicionário de sinónimos: uma norma; um princípio; um preceito; uma lei; ordem; disciplina, etc. A sua definição deixa antever à partida a consequência da sua ausência, ou seja, sem regras surge o caos.

Os BIM, tal como qualquer método de trabalho, necessita de regras específicas. Conforme foi citado, a ausência de normas gera o caos, que consequentemente inviabiliza a interpretação da informação, assim como a correta comunicação em projetos de construção.

À medida que a proliferação desta ferramenta foi avançando, nos países onde o uso dos BIM mais se generalizou, foram surgindo normas/regras de modelação BIM. Estas normas são a consequência da

aderência por parte de empresas, organizações, ou até a nível governamental, conforme se pode analisar nas iniciativas governamentais detalhadamente descritas em 2.3.

Com a generalização desta tecnologia foram também introduzidos novos conceitos ao tema que se irá desenvolver nos capítulos seguintes.

2.4.1. NORMAS INTERNACIONAIS

Atualmente, com a disseminação dos BIM, tem surgido um número crescente de normas de modelação internacionais por parte de várias organizações. Um autor adaptou uma tabela da *American Institute of Architects* (AIA) [19], que resume a maioria das iniciativas implementadas em todo mundo, ao nível de normas ou diretrizes para o uso de BIM (Tabela 2).

Analisando a Tabela 2 é possível constatar que a utilização desta tecnologia está em crescimento em todo o mundo. Por exemplo, nos Estados Unidos várias universidades e organizações têm publicado normas/diretrizes que não se encontram listadas na respetiva tabela, destacando-se a *Pennsylvania University BIM Execution Plan* e a *Indiana University BIM Standards*. Outra norma de grande destaque, e que não se encontra listada na tabela referida, é a *Hong Kong BIM Standard*, que se encontra atualmente na sua versão 6.1, lançada em 7/abr/2015.

Nos capítulos seguintes irá ser feita uma análise, o menos exaustiva possível, ao conteúdo de algumas normas mais importantes aqui referidas. Sendo assim, para uma análise mais detalhada do conteúdo dessas mesmas normas, considera-se preferível remeter para a bibliografia analisada [19], de modo a ser possível conferir a totalidade da informação aí apresentada, mantendo a integridade estrutural e sequencial da consulta e não dispersando o tema principal desta dissertação

Tabela 2 – Normas ou diretrizes BIM mais importantes a nível internacional [19].

País	Organização	Nome da Norma/Diretriz/Requisito	Data da Publicação
Austrália	NATSPEC	NATSPEC National BIM Guide NATSPEC BIM Object/Element Matrix	19/set/11
Dinamarca	Erhvervsstyrelsen (National Agency for Enterprise and Construction)	Det Digitale Byggeri (Digital Construction)	01/jan/07
Finlândia	buildingSMART Finland	Common BIM Requirement 2012 (COBIM)	27/mar/12
Reino Unido	AEC (UK)	AEC (UK) BIM Protocols	07/set/12
Noruega	Statsbygg	Statsbygg Building Information Modeling Manual	24/nov/11
Singapura	Building and Construction Authority	Singapore BIM Guide	15/mai/12
	CORENET e-submission System (ESS)	CORENET BIM e-submission Guidelines	25/jan/10
	National Institute of Building Science (NIBS) - buildingSMART alliance (bSa)	National BIM Standard (NBIMS)	04/mai/12
Estados Unidos da América	American Institute of Architects (AIA) Contract Documents	E202-2008 BIM Protocol Exhibit	2008
	New York City Department of Design + Construction	BIM Guidelines	01/jul/12
	United States Department of Veterans Affairs (VA)	The VA BIM Guide	02/abr/10
	Indiana University Architect's Office and Engineering Services	IU BIM Guidelines & Standards for Architects, Engineers, and Contractors	02/jul/12
	buildLACCD (Los Angeles Community College District)	BIM Design-Bid-Build Standards BIM Design-Build Standards	29/jun/11
		LACCD BIM Standard	02/jun/10
	United States General Services Administration (GSA)	National 3D-4D Building Information Modeling Program	15/mai/07

2.4.1.1. Estados Unidos da América

Tendo já sido analisado em 2.3.4.2., a GSA foi responsável por grande parte das iniciativas BIM nos EUA, tendo estabelecido em 2003 o *National 3D-4D-BIM Program*. Contudo, só a partir de 2007 a GSA tem vindo a publicar uma série de guias para a utilização dos BIM, sendo que neste momento já se encontram publicadas as seguintes séries [19]:

- *GSA Building Information Modeling Guide Series: 01 – Overview;*

- *GSA Building Information Modeling Guide Series: 02 – GSA BIM Guide for Spatial Program Validation;*
- *GSA Building Information Modeling Guide Series: 03 – GSA BIM Guide for 3D Imaging;*
- *GSA Building Information Modeling Guide Series 04 – 4D Phasing;*
- *GSA Building Information Modeling Guide Series 05 – Energy Performance.*

O conjunto de séries presentes no *GSA Building Information Modeling Guide Series* é usado como guia de referência de modelação em BIM para projetistas e consultores do GSA em projetos ligados a novas construções e principais projetos de modernização do GSA.

Outra norma de referência é a *National Building Model Standard Project Committee – United States (NBIMS-US)*, que tem vindo a ser desenvolvida nesse país pela *buildingSMART alliance* (bSa), uma secção pertencente à *buildingSMART* internacional. A bSa opera com a supervisão do *National Institute of Building Sciences* (NIBS). A NIBS é uma organização não-governamental e sem fins lucrativos, criada em 1974, cuja principal missão é a de apoiar os avanços científicos e tecnológicos no sector da construção, com a finalidade de melhorar o desempenho dos edifícios neste país, reduzindo os desperdícios e poupando energia e recursos.

Atualmente a NBIMS encontra-se na 2ª Versão documental, e tem como objetivo principal o de promover a eficiência em todo ciclo construtivo, proporcionando um meio de classificação e organização de todos os objetos de modelo BIM, assim como a interoperabilidade entre os donos de obra, projetistas, construtores, gestores de edifícios e todas as partes interessadas. Os atuais signatários da NBIMS representam a maioria das associações profissionais, consórcios e serviços técnicos que os suportam. Uma das tarefas mais importantes para a NBIMS é a coordenação de tais esforços e harmonização do trabalho entre todas as organizações com produtos e interesses comuns. Várias organizações profissionais estão a apoiar a NBIMS, estando a fornecer conhecimento sobre a matéria e recursos importantes para o seu desenvolvimento [19].

Através de uma abordagem *bottom-up*, são publicadas novas versões da norma, através de um prazo pré-estabelecido, e com a compilação de vários guias que vão sendo lançados por diferentes entidades. Assim a *buildingSMART alliance* consegue obter informação provenientes de diversas fontes, produzindo continuamente versões cada vez mais apuradas em relação às anteriores.

A 2ª Versão desta norma encontra-se dividida em cinco capítulos distintos:

- 1. Âmbito;
- 2. Normas de referência;
- 3. Termos e Definições;
- 4. Normas de troca de informação;
- 5. Documentos práticos;
- Anexo A - *NBIMS-US Project Committee Rules of Governance*, de Janeiro de 2011;
- Anexo B – 1ª Versão da NBIMS, de Dezembro de 2007.

É fácil perceber a complexidade de conceitos presentes na NBIMS, muito devido à agregação de diversos documentos publicados por outras entidades, como normas e guias que diferem entre si. Após análise da norma, verifica-se que o tema base é a normalização da troca de informação entre as várias fases de um ciclo construtivo. Faz parte dos objetivos da NBIMS que diferentes aplicações consigam estabelecer ligações entre si. [19]

2.4.1.2. Finlândia

Desde 1970, o Governo Finlandês tem investido fortemente no desenvolvimento das ciências da informação na indústria da construção. No entanto, os primeiros passos foram dados através do estabelecimento do *RATAS-project*, iniciado em 1983, e que introduziu novos conceitos (naquela altura) de trocas de informação, de bases de dados, de objetos, de modelo do produto da construção, de relações paramétricas, de ontologias e sistemas de classificação, entre outros conceitos. A este projeto sucederam vários outros no mesmo sentido, pelo *Technical Research Centre of Finland* (VTT), e mais tarde pela *Finnish Funding Agency for Technology and Innovation* (TEKES), que teve como resultado o desenvolvimento de várias aplicações comerciais na mesma lógica de conceitos, como o TELERATAS, o OOCAD e o HVAC-RATAS. O desenvolvimento de tais projetos colocaram a Finlândia num dos primeiros países precursores dos BIM.

Com todo o potencial para a adoção dos BIM já lançado, o *Senate Properties* (*Senaatti-kiinteistöt*), uma empresa estatal responsável por administrar a maior parte dos ativos imobiliários detidos pelo Governo Finlandês, foi a principal responsável pela disseminação dos BIM neste país com o estabelecimento, em 2007, de diretrizes para a adoção dos BIM em projetos de construção.

Em 2012 surge a primeira norma BIM na Finlândia, a *Common BIM Requirements* (COBIM), que é caracterizada como uma expansão das diretrizes BIM desenvolvidas pelo *Senaatti*. A *buildingSMART* foi a responsável por conduzir este projeto, cujo objetivo principal passa pela introdução de uma cultura de adoção dos BIM em projetos de construção e posterior manutenção dos edifícios. A ideia base desta norma é a produção de um conjunto de documentos, que definem um conjunto de requisitos, que lidam com as qualidades técnicas do modelo, e que servem para uniformizar os documentos de adjudicação e contratação de todos os projetos de especialidades envolvidos no ciclo de vida de uma construção, desde o projeto à manutenção dos edifícios.

Este projeto foi financiado e apoiado por diversas entidades desde empresas de consultoria, universidades, organizações governamentais, produtores de softwares BIM, empresas de construção, entre outros [19].

A COBIM é constituída por treze partes distintas:

- Princípios básicos;
- Modelar do início;
- Projeto de arquitetura;
- Projeto de MEP;
- Projeto de estruturas;
- Garantia de qualidade;
- Extração de quantidades;
- Uso de modelos para visualização;
- Uso de modelos para análise MEP;
- Análise energética;
- Gestão de um projeto BIM;
- Uso de modelos na gestão e manutenção de edifícios;
- Uso de modelos na construção.

É importante fazer referência que a parte 14 do documento encontra-se em redação e diz respeito aos “Requisitos de licença de construção para BIM”.

Tendo em vista a sua uniformização, o conjunto de requisitos estabelecidos nesta norma definem conceitos importantes no que diz respeito à modelação. Existem diferentes interpretações para o conceito BIM, sendo que um modelo BIM pode exibir níveis de qualidade muito distintos, por isso pretende estabelecer-se recomendações para a elaboração de modelos distintos num projeto, sendo que cada modelo deve responder a propósitos específicos.

2.4.1.3. Reino Unido

O Governo do Reino Unido iniciou um programa de implementação BIM para a indústria da construção considerado pela comunidade científica como o programa de implementação “mais ambicioso e centralizado em todo mundo”. Este programa legislativo tem como objetivo tornar o uso de BIM obrigatório em projetos de obras públicas, transformando a indústria do Reino Unido, líder em projetos BIM, num espaço de tempo relativamente curto. Nesse sentido, em maio de 2011, o *UK Cabinet Office* publicou a *Government Construction Strategy*, que anuncia a obrigatoriedade na utilização de utilização de BIM 3D totalmente colaborativo em novos projetos públicos a partir de 2016, através de um plano de implementação por níveis, com a duração de 5 anos. A implementação desta tecnologia faz parte de um objetivo governamental de chegar a uma meta de 20% em poupança de custos de contratação/aquisição. Tais estratégias de implementação representam um impacto significativo no sector da construção deste país, na medida que será necessário que o governo disponha de capacidades tecnológicas suficientes para o cumprimento dos requisitos impostos por esta implementação. Neste contexto, o Governo do Reino Unido criou o *BIM Task Group*, com objetivo de prestar assistência às entidades adjudicantes de obras públicas, assim como às entidades privadas que pretendam implementar o BIM no seu ambiente de trabalho. Atualmente, o governo está a focar-se no desenvolvimento de normas que permitam a todos os membros da cadeia de valor trabalhar colaborativamente em BIM.

As medidas anteriormente descritas são suportadas pela *AEC (UK) BIM Standard Comitee* que publicou, até à data, a norma *AEC (UK) BIM Standard*, a *AEC (UK) BIM Standard for Revit* e a *AEC (UK) BIM Standard for Bentley Products*. Este comité está atualmente a adaptar a mesma norma para outras aplicações BIM e a trabalhar na atualização das existentes. Todas estas normas têm como principal objetivo fornecer às empresas de construção guias práticos e processos de transição de CAD para BIM [22].

A iniciativa AEC (UK) foi iniciada em 2000, com o objetivo de melhorar os processos de produção, gestão e trocas de informação, sendo que inicialmente as iniciativas eram dirigidas para convenções CAD. À medida que as necessidades e a tecnologias foram evoluindo, a iniciativa expandiu-se de maneira a cobrir outros aspetos relacionados com a produção de dados do projeto e trocas de informação. Em 2009, o comité foi reorganizado, com a inclusão de novos membros de empresas e consultores com larga experiência em BIM, de maneira garantir a aplicação das normas, com a maior eficiência possível no sector construtivo.

A norma *AEC (UK) BIM Protocol* foi primeiramente publicada a novembro de 2009, sendo mais tarde publicada, em setembro de 2012, a segunda versão do mesmo documento. Esta versão mais atualizada é resultado da experiência e aprendizagem ganha até à data da sua publicação. Esta 2ª versão documental é composta pelos 11 capítulos seguintes:

- 1. Introdução;
- 2. Práticas Eficientes;
- 3. Plano de Execução de Projetos BIM;

- 4. Trabalho Colaborativo;
- 5. Interoperabilidade;
- 6. Segregação de Dados;
- 7. Metodologia de Modelação;
- 8. Estrutura das Pastas Documentais do Projeto e Terminologias;
- 9. Estilos de Apresentação;
- 10. Recursos;
- 11. Anexos.

As normas específicas para softwares BIM a apresentam a mesma estrutura que a norma analisada, sendo que diferem da mesma pelo simples facto de expandirem os conceitos apresentados para o software em questão.

Este conjunto de medidas legislativas leva à disseminação dos BIM a uma velocidade superior aos outros países, levando às empresas sediadas no Reino Unido a implementarem o BIM internamente de uma forma mais natural em relação a outras empresas mundiais, encontrando-se a maior parte delas, numa fase considerada bastante avançada na implementação de BIM.

2.4.2. LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD)

O Nível de Desenvolvimento (LOD) é um conceito anterior à difusão dos BIM, descrito como um nível de representação definido para um objeto gráfico em 3D. Aplicado aos BIM, o LOD é descrito como uma especificação que visa definir o nível de desenvolvimento de um modelo de informação, podendo ser mais detalhadamente descrito [16] como etapas através do qual um elemento BIM pode progredir logicamente do menor nível de aproximação conceptual para o mais alto nível de representação precisa. As diferentes fases do ciclo de vida de um modelo de informação estão diretamente relacionadas com o seu nível desenvolvimento. Isto torna-se evidente tomando como exemplo a comparação do nível de desenvolvimento das peças desenhadas para a fase de programa base quando comparadas com o projeto de execução. Com efeito, o LOD serve de referência a nível internacional aos projetistas como especificação e articulação, com elevado grau de clareza, do conteúdo e do detalhe de Modelos de Informação para a Construção nas várias fases de projeto e do ciclo de vida da construção. Esta articulação permite ao projetistas definir a aplicação clara de cada modelo de projeto, assim como permite aos utilizadores a jusante perceber as potencialidades e as limitações do modelo.

O conceito de LOD aplicado aos modelos de informação foi introduzido pela AIA (*American Institute of Architects*), e desenvolvido mais tarde pela BIMForum, em 2011, através de um conjunto de intervenientes tanto ligados à parte de projeto, como à parte da execução. O primeiro trabalho desenvolvido por este conjunto de intervenientes passou, essencialmente, por interpretar as definições básicas do LOD, segundo os documentos disponíveis do AIA (*American Institute of Architects*) relativamente a cada especialidade, e assim compilaram um documento com exemplos ilustrativos de interpretações do nível de desenvolvimento de um modelo – *Level of Development Specification, 2013*.

Dada elevada aderência deste conceito na indústria da construção, o LOD é já considerado uma ferramenta de comunicação, servindo como base à contratação de modelos BIM num projeto de construção.

O LOD é por vezes interpretado como Nível de Detalhe e não como Nível de Desenvolvimento (principalmente devido ao acrónimo comum aos dois conceitos), no entanto existem ligeiras diferenças. O Nível de Detalhe é, essencialmente, tal como a definição deixa transparecer, a quantidade de detalhe dos elementos do modelo de informação. O Nível de Desenvolvimento é o grau de desenvolvimento em que os elementos geométricos e informação incluída foram pensados, ou seja, o grau em que os elementos da equipa de projeto pode confiar quando usam a informação incluída no modelo. Fundamentalmente, o Nível de Detalhe pode ser interpretado como um *input* dos elementos a introduzir no modelo, enquanto o Nível de Desenvolvimento é um *output* do modelo.

Segundo o documento elaborado pela BIMForum [20], o *Level of Development Specification*, o LOD pode ser dividido em 6 diferentes níveis:

- LOD 100 - O elemento deve ser graficamente representado no modelo com uma simbologia ou outra representação genérica, no entanto este não deverá satisfazer os requisitos para o LOD 200;
- LOD 200 – Representação gráfica obriga à utilização dos objetos de uma forma genérica, com características físicas, quantidades, bem como local onde se insere e orientação, próximas da realidade. Parte da informação não gráfica simples deve também ser incluída.
- LOD 300 – Graficamente o seu aspeto é já especificamente do objeto, em que as coordenadas físicas como tamanho, forma, quantidade, localizações e orientação são as reais e onde a complexidade de informação não física, se mantém ao nível do exigido no nível anterior.
- LOD 350 – Neste patamar, tudo o que é relativo a componentes gráficas e tudo o que diz respeito a informação adicional, mantém-se praticamente no mesmo grau de desenvolvimento, com a exceção de nas características físicas do objeto ter-se a preocupação de reproduzir as ligações deste, com os restantes que o delimitam.
- LOD 400 – Graficamente é uma reprodução fiel do objeto, com os pormenores de informação do fabricante, ou por exemplo, informações relativas à instalação, no caso de equipamentos;
- LOD 500 – A modelação é elaborada *as-built*, onde toda a construção é modelada com o detalhe e o pormenor da realidade, bem como todas as características não gráficas possíveis. Este modelo, por norma, é uma recriação final da obra em questão. Estes modelos revelam especial interesse quando se pretende aprofundar o estudo na área da manutenção de edifícios.

Normalmente, o Nível de Desenvolvimento de um modelo de um projeto de execução representa um LOD 300 ou LOD 350. Para efeitos de Verificação Automática de um Projeto, o LOD varia consoante a regulamentação a verificar, variando também de regra para regra. Regulamentação mais complexa geralmente requer um LOD mais elevado, assim como regras que envolvem especificação de pormenores de elementos de construtivos. Um dos objetivos da Verificação Automática de Projetos é não requerer um LOD superior ao do modelo de projeto de maneira a não acrescentar custos ao dono de obra, isto é, o projetista não deve enriquecer o modelo para além do estritamente necessário para cumprir os requisitos de projeto

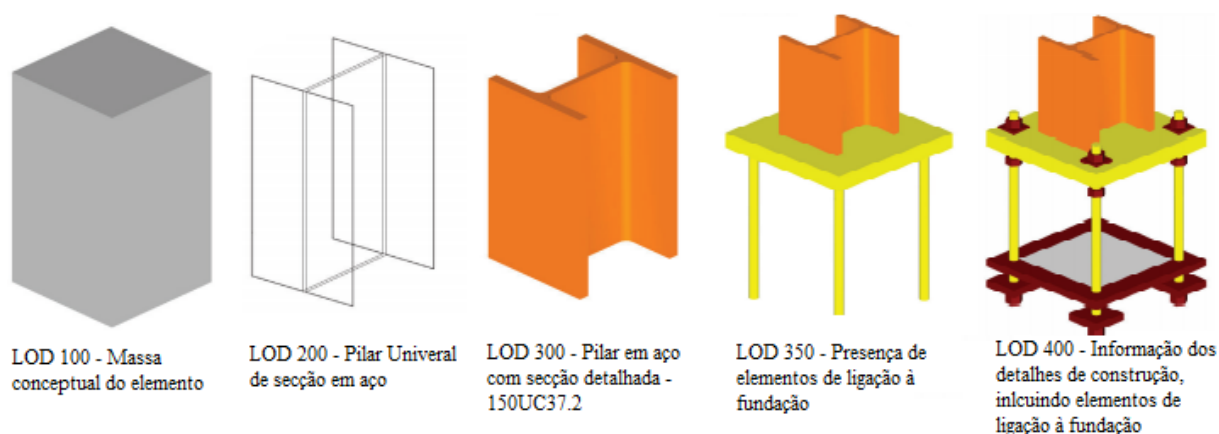


Fig. 20 – Evolução do LOD de uma secção de um pilar em aço [20]

Tendo em conta o que foi anteriormente referido, é de fácil percepção a relação do custo do projeto com o seu LOD respetivo. Esta relação, consequente da variação do LOD consoante a fase de projeto, serviu de base a vários estudos de estimativas de custo de projetos com base no LOD.

2.4.3 MODEL VIEWS DEFINITION (MVD)

Um conceito que surge após a estruturação do LOD, é o conceito de *Model Views Definition* (MVD) ou *IFC View Definition* - em português Definição de Vistas de Modelo ou Definição de Vistas IFC - que define um subconjunto da estrutura do modelo IFC que é necessário para satisfazer um ou vários requisitos de troca de informação na indústria da construção. O conceito foi desenvolvido pela buildingSMART que se baseou no *Information Delivery Manual* (IDM), bem como na ISO29481, para definir tais exigências na definição visual dos modelos, sendo pensado como uma metodologia padrão para implementação de projetos em IFC.

Uma definição mais específica de Vistas de Modelo tem que ver com as próprias regras associadas com as Vistas de Modelo, que incluem informação de tipos de geometria requerida pelos recetores do modelo, as variáveis críticas para o caso de estudo e restrições de subtipos de entidade de relevância no caso de estudo. Tais regras são por vezes referidas como acordos de implementação [18].

Para a definição de Vistas de Modelo IFC, o objetivo foi encontrar um equilíbrio entre os desejos dos utilizadores/clientes e a possibilidades dos distribuidores de softwares, e registar distintamente os resultados. O formato das Vistas de Modelo IFC é usado, claramente, para documentar estes resultados. Para tal o formato tem de ser claramente definido e exato. No entanto, o formato é apenas uma das partes necessárias:

- Formato – o tipo de informação necessária a ser retida e como a informação é estruturada;
- Conteúdo – a informação que é necessária num caso específico. Por exemplo a estrutura IFC é o conteúdo que é capturado usando o formato EXPRESS e Definição de Vista de Modelo IFC é o conteúdo que é capturado usando o conteúdo em formato Definição de Vista de Modelo IFC;
- Processo – Os papéis e as responsabilidades de todas as partes envolvidas, por exemplo como uma definição de vista do modelo se torna oficial.

Contudo, o formato é, na teoria, independente das restantes partes, apesar de na prática ser o suporte delas. Parece também ser claro que o formato não é por si só a resposta ao problema. No entanto, a existência de um formato público parece ser o ponto de partida. Sem um formato comum seria muito difícil a interoperabilidade de conteúdos e ferramentas, ou para definir processos.

As Vistas de Modelo são um outro nível de especificação, acima do esquema IFC. Quer seja realizada para trocas de dados entre formatos públicos ou privados, as MVD identificam sempre os requisitos que devem ser esperados para uma troca de dados efetiva. Tal, é uma grande ajuda para os utilizadores com papéis complementares: o projetista fica a saber de antemão quais os requisitos necessários, assim como aqueles que não o são, enquanto quem recebe o modelo já sabe à partida o que irá receber, e assim agir nesse sentido. As MVD definem, claramente, o que irá ser implementado no modelo, de maneira a haver uma concordância na exportação e importação do mesmo, permitindo, deste modo, eliminar incompatibilidades relacionadas com suposições assumidas por ambas as partes [24].

Atualmente, o objetivo passa pela definição de trocas efetivas entre modelos IFC, tornando mais fáceis e expeditos os fluxos de trabalho. Quando tal acontece, as MVD irão assumir o papel maior no processo. Existe, portanto, a necessidade e oportunidade de definir as especificações na entrega dos projetos nas mais variadas fases, por exemplo, desde a fase de projeto à construção, e desde a construção à fase de serviço. Assim, é fácil entender que as MVD têm um papel de extrema importância na fase de adjudicação, muito para além da interoperabilidade entre modelos IFC.

3

BIM NA VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE PROJETOS

3.1. INTRODUÇÃO

Os regulamentos e as regras usadas na construção sempre foram escritas e pensadas para serem aplicadas por pessoas. Como resultado, aspetos das mesmas apresentam-se por vezes incompletos, não cobrem todos os aspetos necessários, ou acabam por cair na ambiguidade. Outro aspeto importante é facto de uma regulamentação ser aplicada por várias pessoas e em condições completamente diferentes umas das outras, levando muitas vezes ao erro humano. Para contrariar estes aspetos é reconhecidamente necessária a uniformização de métodos de verificação da regulamentação, transformando algo ambíguo e complexo em rotinas lógicas e objetivas.

Neste sentido, a proliferação dos *Building Information Modeling* (BIM), ao representar uma nova abordagem aos processos de gestão da informação na construção apoiada em ferramentas caracterizadas por elevados índices de automação e integração da informação, é vista como uma solução a este problema a longo prazo. Além disso, vários autores defendem que os verdadeiros benefícios das ferramentas BIM apenas se verificam quando estas são aplicadas à totalidade do projeto [25]. É de senso comum que a adoção desta tecnologia não se verifica de forma generalizada, sendo que a verificação automática de projetos pode surgir como um possível incentivo à adoção de metodologias BIM.

Um problema que surge neste processo, tendo em conta que o mesmo abrange várias especialidades diferentes da construção, sendo assim necessário compatibilizar informação proveniente de várias fontes diferentes, é o problema da interoperabilidade. Várias iniciativas surgiram para responder a este problema, sobretudo através da criação de formatos universais para a classificação e organização dos elementos da construção. Entre os demais formatos, o modelo IFC afigura-se como a mais bem sucedida aposta neste sentido, respondendo a um conjunto abrangente de necessidades de representação [25]. Atualmente, o formato já se encontra adotado pelas mais diferentes aplicações BIM, sendo elo de ligação entre as ferramentas de modelação e as aplicações de verificação automática existentes. No entanto, o formato IFC não elimina por si só todos os problemas de interoperabilidade, como se verá adiante.

À medida que foram desenvolvidas iniciativas neste âmbito, quer governamentais ou não-governamentais, foram surgindo cada vez mais softwares BIM que verificam automaticamente regras num modelo de informação. Contudo, não existe nenhuma ferramenta suficientemente versátil que se adapte às atuais regulamentações e de fácil aplicação. Com efeito, constata-se que ainda só uma

pequena parte dos regulamentos são atualmente suscetíveis de serem verificados automaticamente. Essa solução seria considerada a solução ótima neste ponto de vista, embora a curto prazo não possa ser uma solução viável. Para tal se suceder teria de haver um esforço de ambas as partes, tanto das entidades licenciadoras, como dos produtores de softwares BIM, ou seja, as regulamentações teriam de ser adaptadas à verificação automática, assim como os softwares adaptados às mais diversas aplicações BIM. Quanto mais uniformização houver neste sentido, menos problemas de interoperabilidade surgirão.

3.2. SOFTWARES DE VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE PROJETOS

O início da investigação aos sistemas de verificação automática data duas décadas atrás. Desde essa altura, tanto os BIM como as metodologias padrão para a verificação automática de regras têm crescido consideravelmente. No entanto, os sistemas mais eficientes estão agora a começar a surgir, como tal a tecnologia é considerada bastante recente e em fase de valorização.

Como já foi referido, um sistema de verificação automática traduz-se numa aplicação BIM capaz de correr uma rotina de verificação de um conjunto de regras pré-definidas, com as seguintes possibilidades de aplicação:

- Uma ligação direta do tipo “*Plug-in*” a um software de modelação;
- Como uma aplicação independente do software de modelação;
- Como uma plataforma eletrónica para submissão dos modelos de projeto acessível via internet.

Atualmente existem disponíveis três plataformas suficientemente desenvolvidas para aplicação direta a verificação automática de regras, todas elas a modelos de informação em formato IFC, e que serão sujeitos a uma análise detalhada nos capítulos seguintes:

- Solibri Model Checker;
- Jotne EDMModelChecker;
- Fornax.

Dado o SMC ser usado para a validação do caso de estudo da presente dissertação, é apresentado no Anexo 1 um guia de utilização deste software, que foi desenvolvido no decorrer deste trabalho para dar resposta à verificação automática de regras de avaliação da qualidade de projetos de habitação.

3.2.1. SOLIBRI MODEL CHECKER (SMC)

O programa Solibri Model Checker (SMC) foi desenvolvido, em ambiente Java, pela empresa finlandesa Solibri Inc., sendo a sua última versão disponível a v9.5 de fevereiro de 2015.

O SMC comunica diretamente com o modelo BIM, codificado segundo o formato IFC, retirando do modelo apenas os objetos necessários à verificação requerida. Neste contexto, este programa foi desenvolvido com o propósito de descobrir potenciais problemas, conflitos ou violações a um conjunto de regras num modelo de informação. A este modelo está obrigatoriamente associado um certo nível de desenvolvimento (LOD), para que o programa interprete, analise e daí possa fornecer a informação útil à sua validação. Para uma ferramenta de verificação de conflitos, tal como o SMC, a questão da interoperabilidade é crítica, tendo em conta que assegura que o modelo de verificação garante uma comunicação adequada com o software, podendo apresentar repercussões em aplicações a jusante, tais como estimativas de material, estimativa de custos, planeamento e consumos de energia.

A este programa está associado uma grande vantagem para os utilizadores de BIM, a criação de rotinas de verificação automática sem a necessidade de aprender qualquer linguagem de programação. No entanto, a introdução de novas regras está sujeita à utilização de uma Interface de Programação de Aplicações – em inglês *Application Programming Interface* (API) - do SMC. A API não está disponível para o uso do utilizador comum, restringindo o programa apenas para a edição de um conjunto de regras predefinidas, adaptando as mesmas ao uso de cada utilizador, como se verá adiante. O SMC apresenta uma interface específica para edição das *rulesets* predefinidas no software, o Gestor de Regras. O Gestor de Regras, ou o *Ruleset Manager* em inglês, é a interface de maior importância no desenvolvimento deste trabalho.

O conjunto de regras disponibilizadas pela biblioteca do SMC focam aspetos essencialmente ligados com validação espacial, questões de acessibilidade, segurança contra incêndios, deteção de incompatibilidades, entre outros. O repositório de regras do SMC apresenta regras para uso geral que podem ser adaptadas para os mais diversos usos, por exemplo, a regra que aborda a distância entre dois objetos (Fig. 21).

The screenshot displays the 'Parameters' window of the SMC Ruleset Manager. It is divided into several sections:

- Distance Calculation:** Includes radio buttons for 'Check Maximum Distance' (selected) and 'Check Minimum Distance'. A 'Distance' input field is set to '1.00 m'. A 'Distance Calculation Method' dropdown is set to 'Minimum 2D'. A 3D diagram shows a blue cube and a red cylinder with a double-headed arrow indicating the distance between them.
- Space or Space Group Containment:** Features a dropdown menu set to 'Ignore Space or Space Group' and a 'Space Group Type' section with a list of options.
- Source Component:** Contains a table titled 'Source Components to be Checked' with columns: State, Component, Property, Operator, and Value. The first row is: Include, Object, Name, Matches, Fire Extinguisher.
- Target Component:** Contains a table titled 'Target Components to be Checked' with the same columns. The first row is: Include, Door, Name, Matches, Kitchen Door.
- Minimum Amount:** An input field at the bottom right is set to '2'.

Fig. 21 - Edição de uma *ruleset* do repositório do SMC

Outro aspeto importante na adaptação das regras ao uso específico de cada utilizador diz respeito aos sistemas de classificação. O SMC apresenta inúmeros sistemas de classificação para os mais diversos produtos da construção, sendo que os mais conhecidos são o Omniclass e o Unifomat. A utilização de um sistema de classificação é de extrema importância na parametrização de regras, dado que faz corresponder os elementos presentes no modelo com aqueles exigidos para a verificação das regras.

3.2.2. JOTNE EDMODEL CHECKER

A aplicação Jotne EDModel Checker (EDM) é um software de verificação automática de regras desenvolvido pela empresa norueguesa Jotne EPM Technology. O EDM providencia uma extensa

base de dados de objetos e permite a criação de novas regras de raiz através da linguagem EXPRESS, que é a linguagem usada no desenvolvimento do modelo IFC. Estas propriedades fazem do EDM um repositório de criação de novas extensões pelo utilizador. O EDM permite a criação de relatórios textuais das respetivas verificações.

O EDM Model Server serve de suporte a esta aplicação fornecendo um servidor de base de dados baseado em objetos, que permite operar com inúmeros modelos de informação. O EDM foi utilizado em várias iniciativas no âmbito da verificação automática de projetos, entre eles estão o CORENET e-PlanCheck em Singapura e o DesignCheck na Austrália [4].

3.2.3. FORNAX

Esta aplicação é considerada o primeiro grande esforço no que diz respeito à verificação automática de projetos, sendo desenvolvida no âmbito do projeto CORENET em Singapura, detalhadamente descrito no capítulo 2.3.1, e fazendo parte de um conjunto de processos de submissão de projetos na plataforma e-PlanCheck. O software FORNAX, desenvolvido pela empresa novaCITYNETS Pte.Ltd com base na tecnologia do EDM Model Checker, é uma aplicação desenvolvida em C++ com propósito de verificar automaticamente projetos de construção com vista ao seu licenciamento. Este software realiza o processo de verificação com base numa biblioteca de objetos, no formato IFC 2x2, que contém a informação necessária à verificação automática. Este objetos contém as informações necessárias para a implementação das funções de verificação do sistema.

De maneira a garantir o sucesso do processo, o projetista terá de desenvolver o modelo de verificação num software CAD com capacidade de produzir modelos de informação em IFC 2x2, como por exemplo o ArchiCAD, para posterior submissão do projeto. Estas informações são complementadas por funções *cliente-side* que capturam a informação adicional requerida para as funções de verificação.

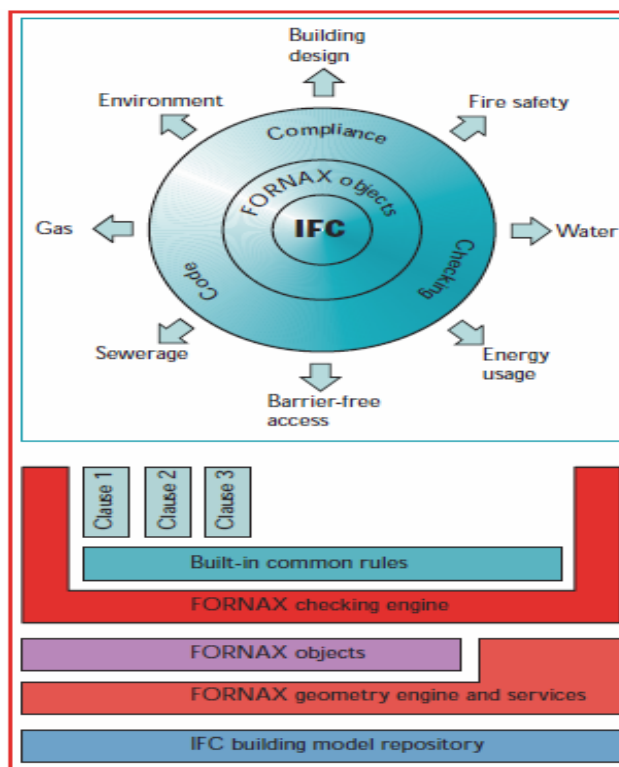


Fig. 22 - Arquitetura do sistema FORNAX

Em capítulo próprio (2.3.1.) já foi revisto que a estrutura do FORNAX contém objetos que estendem a informação do modelo IFC de maneira a providenciar a informação necessária para a verificação das disposições regulamentares. Estes objetos são concebidos para serem extensíveis de maneira a poderem ser personalizados pelo utilizador no que diz respeito à introdução de informação proveniente de várias disposições regulamentares. Através da adoção dos objetos do FORNAX e das suas funções membro, uma disposição regulamentar escrita em linguagem humana é facilmente interpretada com vista à sua programação.

Atente-se num exemplo de aplicação de objetos FORNAX a uma situação de verificação automática de um apartamento (Fig. 24). No formato IFC o apartamento é representado como um conjunto de espaços. Usando a aplicação FORNAX, um objeto FORNAX denominado *FXApartmentUnit* é criado para uma unidade do apartamento que inclui vários métodos de realizar cálculos e definir alguns comportamentos. Alguns destes métodos, neste caso usados na avaliação de requisitos de segurança contra incêndios, apresentam-se listados abaixo [25]:

- *GetSpace*: Obtém todos os espaços que compõem o apartamento;
- *GetExit*: Obtém a porta de saída do apartamento em estudo;
- *CalculateRemotePoint*: Calcula o ponto mais afastado das portas num certo espaço;
- *CalculateTravelDistance*: Calcula a distância entre um certo ponto no espaço e a próxima porta de saída;
- *CalculateArea*: Calcula a área do apartamento em estudo;
- *CalculateVolume*: Calcula o volume do apartamento em estudo.

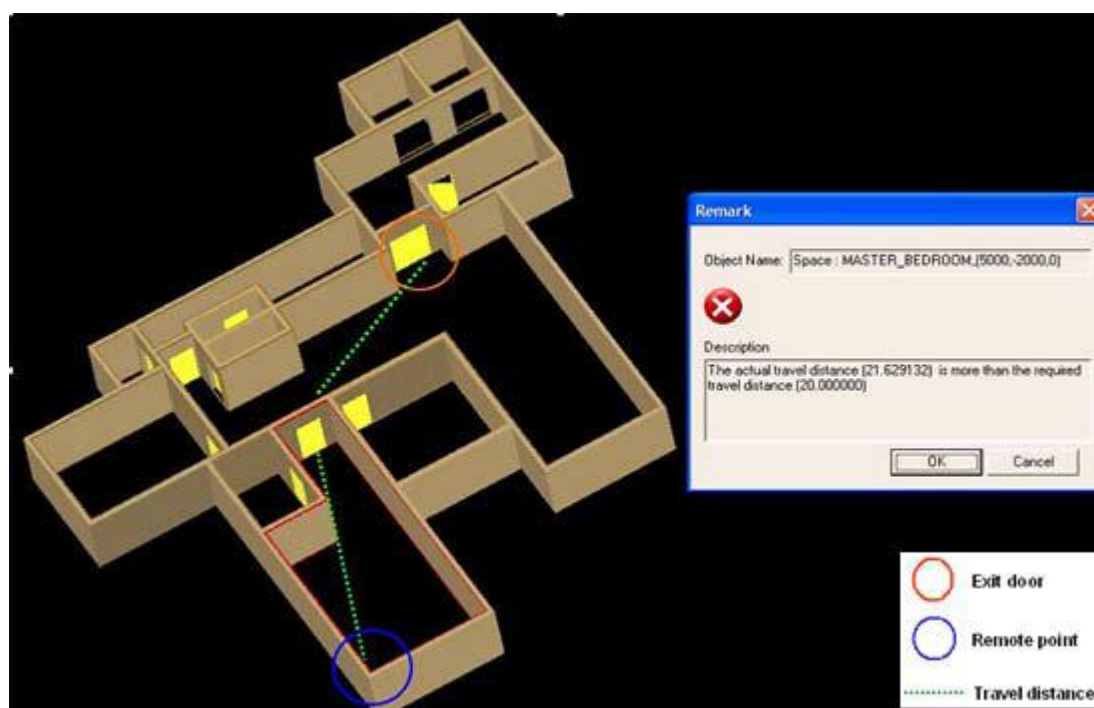


Fig. 23 - Cálculo da distância entre dois pontos no FORNAX

Este software tem vindo a ser revisto por várias iniciativas de verificação automática de projetos como plataforma principal de uso, como é o caso do projeto CORENET e da Norwegian Selvaag Group no desenvolvimento de planos de evacuação contra incêndios. No entanto, trata-se de uma aplicação que não está disponível publicamente.

3.3. INTEROPERABILIDADE

3.3.1. ASPETOS GERAIS

A interoperabilidade define-se como a capacidade de dois ou mais sistemas trocarem dados entre si, suprimindo a necessidade de repetir a informação que já foi introduzida por outro interveniente, facilitando os fluxos de trabalho. Como se averiguou anteriormente, atualmente, há uma crescente oferta de aplicações para verificação automática de projetos, o que implica a necessidade de uma interface que permita compatibilizar a informação, de modo a tornar possível a comunicação entre dois diferentes domínios.

Se existem problemas de interoperabilidade, então, significa que existem falhas no processo de comunicação. É possível fazer uma analogia deste processo com o problema de duas pessoas tentarem comunicar, quando falam línguas diferentes [8]. Neste caso muito pouca informação é filtrada pelos dois recetores linguísticos, e como tal, pouco ou nada se percebe. Nas aplicações BIM o processo é semelhante, ou seja, se duas aplicações usarem “línguas” diferentes, então uma aplicação não consegue interpretar a informação da outra. O mesmo pode acontecer a aplicações que se baseiem na mesma linguagem, devido a informação relacionada com dados provenientes de funcionalidades exclusivas da aplicação de origem.

A necessidade de interoperabilidade está diretamente relacionada com a percentagem de utilização do modelo BIM na totalidade de um processo construtivo. Se os BIM forem usados na totalidade do processo construtivo a quantidade de informação é maior, maior é o número de intervenientes e, consequentemente, maior é a necessidade de uma interoperabilidade bem sucedida. Este facto é, no entanto, contrariado pela situação atual de difusão desta ferramenta. Com efeito, estudos realizados no tema dizem-nos que quem utiliza os BIM, normalmente fá-lo de forma parcial. Este facto além de não tirar partido dos potenciais benefícios desta ferramenta, também representa uma inércia ao desenvolvimento de um formato público, tendo em conta que o mercado não justifica financeiramente o trabalho realizado [8].

Se é verdade que a falta de interoperabilidade é caracterizada por falhas na comunicação, também o é que essas falhas geram erros no processo construtivo. Tais erros levam a custos acrescidos no projeto. Segundo um relatório do McGraw Hill SmartMarket 2007, em média, cerca de 3,1% dos custos de projeto estão associados a custos de não interoperabilidade [26].

Conceptualmente, um sistema de verificação automática é representado por um modelo de projeto, um modelo de verificação e uma dinâmica de interação entre ambos [27]. Transportando este sistema conceptual para o caso de estudo (Fig. 24), o modelo de projeto é representado por uma aplicação BIM, o ArchiCAD, o modelo de verificação pelo SMC e a interação entre ambos efetuada através do modelo IFC, que atualmente, e conforme se verá mais à frente, se afigura como o formato mais bem sucedido de todas as iniciativas realizadas para a criação de um standard para a troca de dados.

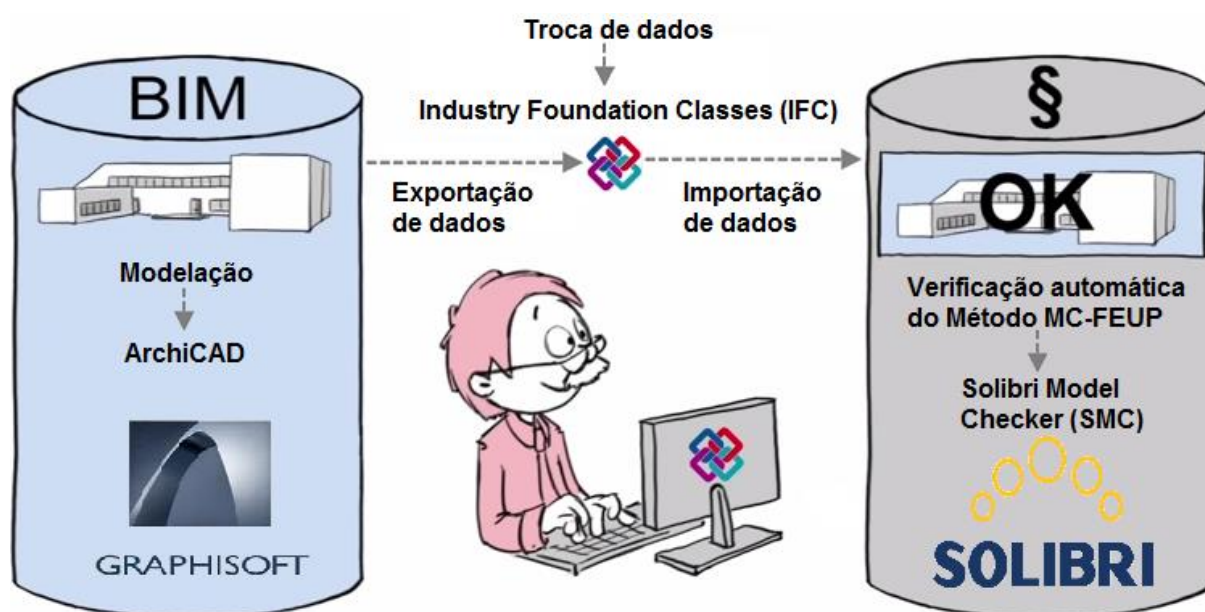


Fig. 24 - Arquitetura do fluxo de dados num sistema de verificação automática de projetos composto por BIM, IFC e SMC

A troca de dados entre duas aplicações são normalmente efetuadas segundo uma das quatro possibilidades seguintes [24]:

- Diretamente entre formatos específicos da aplicação utilizada – Esta troca de dados é normalmente processada quando dois utilizadores usam a mesma aplicação, ou aplicações distintas com formato comum. Sucede frequentemente entre aplicações da mesma família, por exemplo;
- Entre formatos privados – Os formatos privados são caracterizados por serem desenvolvidos por uma empresa, de modo a serem compatíveis com todas as suas aplicações. Um exemplo de muito conhecido é o formato DWG desenvolvido pela Autodesk. Por razões óbvias a maioria das empresas tende a apostar neste tipo de formatos, pois para além de suportá-los melhor, também impedem o seu uso por empresas concorrentes. Este tipo de competitividade permite uma maior garantia de qualidade dos respetivos formatos.
- Entre formatos públicos – Tal como a definição deixa antever, este tipo de troca de dados são, à partida, a melhor solução para os atuais problemas de interoperabilidade, pois, sendo formatos públicos, permitem a troca de dados entre diferentes aplicações. De todos os formatos públicos as principais opções são o IFC e CIS/2;
- Entre o formato XML (*eXtensible Markup Language*) – este tipo de formato é uma extensão do formato HTML, o mais usado no desenvolvimento de páginas de internet. Este tipo de formato suporta trocas de dados de vários tipos e entre diferentes aplicações. Apesar de ser usado maioritariamente para organizar dados e informação documental, pode também ser aplicado a modelos de representação de objetos.

Existem duas formas de proceder no que diz respeito às dinâmicas de trocas de dados entre a entidade projetista e a entidade que efetua a verificação automática, sempre utilizando o modelo IFC como meio: (1) importar o modelo de verificação para o projeto de conceção no início do projeto, modelando o edifício tendo em conta o respetivo conjunto de regras a verificar; (2) ou exportar o modelo de projeto para um modelo de verificação automática no final do projeto [8]. Verificou-se que

a primeira solução traz mais benefícios, no entanto este tipo de implementação só pode ser tomada quando a implementação da segunda opção for bem sucedida.

Tendo em conta o que já foi referido, e resumindo a consulta bibliográfica de estudos sobre a aplicabilidade do modelo IFC à verificação automática de projetos, a escolha do formato ideal para responder às exigências decorrentes da necessidade de um fluxo de trabalho fluído e sem perda de informação é quase unicamente convergente para o formato IFC. Tal deve-se a um conjunto de razões que são aqui listadas:

- A atual base de dados do modelo IFC apresenta uma boa capacidade para abordar as várias especialidades da construção, engenharia e informação de produtos da construção. O modelo apresenta um suporte alargado de representações, com bastantes funções e elementos definidos. Verifica-se que as maiores limitações dizem respeito à geometria, dimensões e propriedades. Contudo, o modelo IFC apresenta vários recursos para a criação de novos elementos, pelo que as necessidades de representação podem ser ultrapassadas [8];
- As iniciativas analisadas no âmbito da verificação automática de projetos apoiam-se em modelo IFC para validação do seu caso de estudo, levando a crer que é a única opção viável para a automatização dos processos de verificação de projetos;
- Atualmente apresenta-se como o único modelo público, bem desenvolvido e não detido por nenhuma empresa;
- Como consequência do seu uso abrangente em vários casos de estudo e em situações de projeto reais, o modelo IFC tem vindo sofrer um grande e contínuo desenvolvimento.
- A maior parte dos softwares de verificação automática de projetos existentes apenas suportam a importação de modelos IFC.

Apesar do que foi referido, é importante que a propagação dos modelos de informação em geral nas práticas de trabalho não esteja exclusivamente dependente da evolução do modelo IFC. É necessário um esforço conjunto, com ambas as partes a estimularem o crescimento uma da outra [8].

Tendo em conta que o modelo IFC parece ser, à partida, a melhor resposta aos problemas de interoperabilidade requeridos por um sistema de verificação automática, faz todo o sentido fazer uma abordagem conceptual ao mesmo, tentando não ser excessivamente extensivo num tema já bastante revisto, não dispersando o tema em foco nesta dissertação. Como tal, o próximo capítulo tem como principal objetivo fazer uma abordagem explicativa ao modelo IFC.

3.3.2. *INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)*

O desenvolvimento do modelo IFC teve como principal objetivo o de melhorar a comunicação, produtividade, fiabilidade, custos e qualidade na representação de produtos da construção, durante todo o ciclo de vida do edifício, através da troca de informação entre os vários intervenientes no projeto, independente da aplicação usada por cada um, ou seja, um standard para troca de dados. O desenvolvimento do modelo IFC está ao cargo da *International Alliance for Interoperability (IAI)*, uma rede internacional de organizações sem fins lucrativos, com o intuito de fomentar a melhoria nas trocas de informação na indústria AEC. As principais atividades do IAI focam-se no desenvolvimento, apoio e promoção do modelo IFC, assim como na disponibilização de uma nova versão anualmente, contribuindo para o amadurecimento contínuo e rápido do modelo. Apesar da constante atualização do modelo, a IAI não disponibiliza novas versões anualmente desde 2000, tendo-se assistido a uma certa estagnação desde então (Fig. 25).

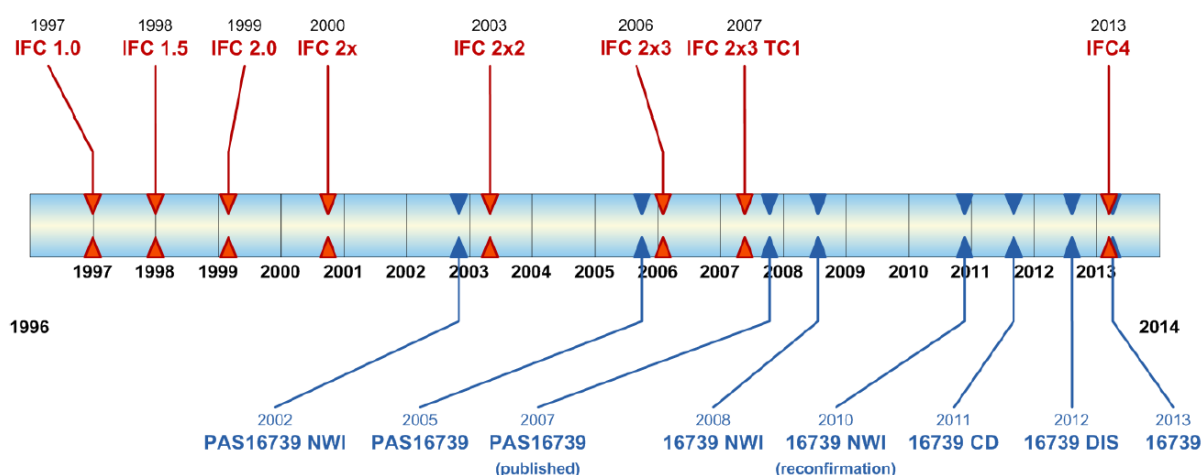


Fig. 25 - Cronologia de lançamento das novas versões do modelo IFC [27]

O modelo IFC pode ser descrito como uma base de dados de informação por objetos, aberta e que atua de forma neutra, que permite a troca de dados entre softwares na indústria AEC [27]. Desenvolvido a partir dos conceitos e definições do ISO-STEP, que importa a mesma linguagem de programação, a EXPRESS.

O aparecimento e o crescimento do formato XML surgiu como uma nova oportunidade de representação do modelo IFC, sendo que desde 2001 encontra-se disponível o formato ifcXML. O conhecimento global e a popularidade do modelo permitiu apresentarem-se como grandes vantagens da utilização desta linguagem para representação do modelo IFC. No entanto a transição da linguagem EXPRESS para XML não se revelou totalmente eficaz, tendo em conta a ligeira incompatibilidade entre as duas linguagens, apresentando sobretudo conceitos díspares. Contudo, a estrutura e conteúdo do modelo IFC apresenta-se igual em ambas as linguagens [8]. Por estas razões, o formato ifcXML apresenta alguma perda de informação em relação ao seu equivalente em EXPRESS.

A estrutura do modelo IFC não se presta a um desenvolvimento descentralizado, envolvendo um conjunto alargado de entidades. O modelo respeita uma hierarquia típica em modelos organizados por objetos segundo a qual as classes de níveis inferiores herdam as propriedades das classes de nível superior na hierarquia. Assim, qualquer alteração nas classes de nível superior modifica a estrutura das classes de níveis inferiores [2].

A arquitetura do modelo IFC consiste numa estrutura dividida em quatro camadas conceptuais dispostas hierarquicamente, que constituem elementos condutores para o desenvolvimento dos vários componentes específicos do modelo (*model schemas* ou módulos estruturais) [8], conforme a Fig. 36. Descrevendo a estrutura do modelo de cima para baixo, a primeira camada, a camada de Domínios, é a camada que identifica o âmbito de uma especificação IFC, fornecendo uma série de módulos criados à medida das várias especialidades da construção. A segunda camada, a camada referente à Interoperabilidade, diz respeito à troca de informação entre sistemas, contendo um conjunto de módulos que definem objetos e conceitos, e que permitem estabelecer ligações com as várias aplicações BIM. A terceira camada, o Núcleo, é a camada mais geral dentro de um esquema IFC, comporta as funções de sustentação do modelo IFC e proporciona a estrutura básica. Contém dois módulos, Kernel e os módulos de extensões. Por último, a camada de Recursos é onde se encontram as disposições de entidades que suportam as estruturas de dados do modelo, e define os recursos usados pelas classes de níveis superiores, podendo ser caracterizados como sendo um conjunto de entidades

que completam todas as outras classes. A Fig. 27 apresenta uma estrutura mais detalhada das várias camadas e módulos conceptuais.

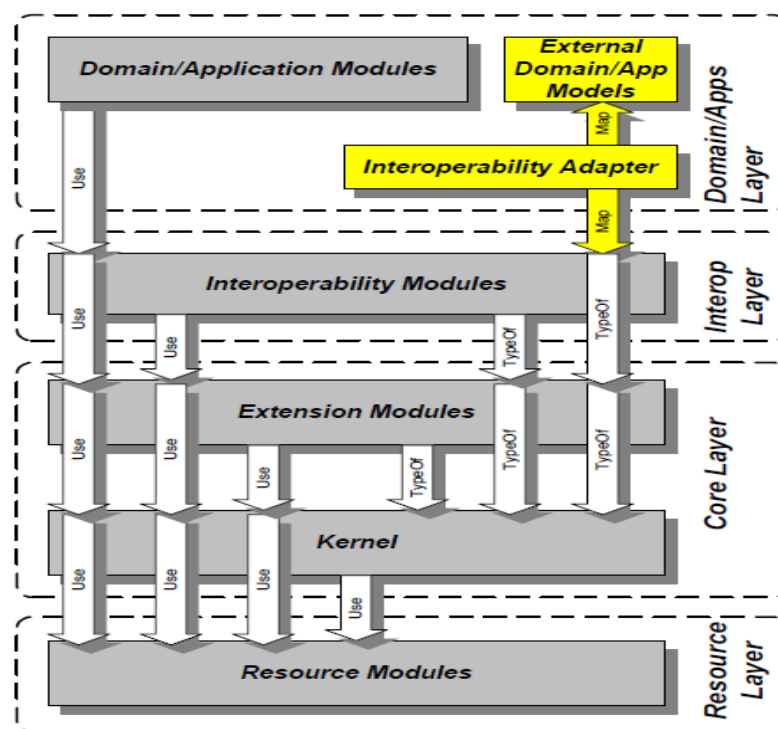


Fig. 26 - Disposição de camadas do modelo IFC [28]

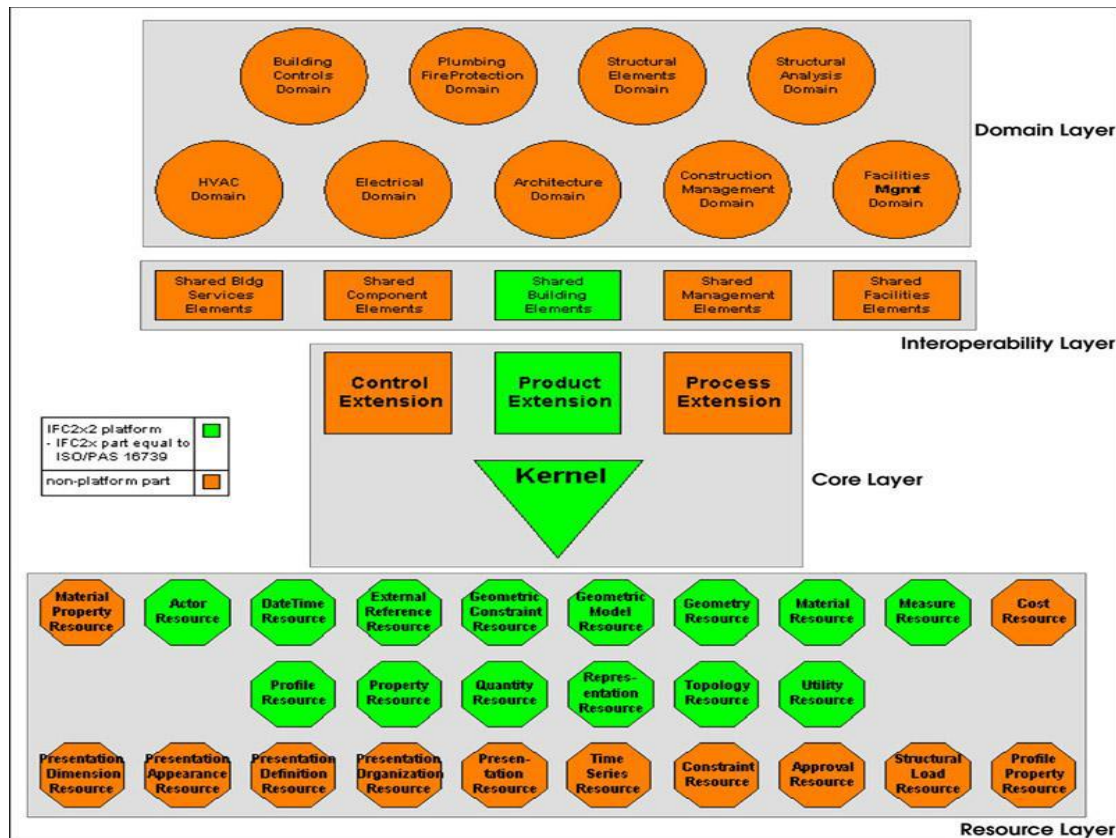


Fig. 27 - Estrutura do modelo IFC, dividida por camadas e módulos [8]

A arquitetura do modelo atua segundo um princípio de escada, isto é, em qualquer camada uma classe pode cobrir qualquer classe de hierarquia igual ou inferior, não podendo cobrir classes de hierarquias superiores. No entanto, quando uma classe se refere a outra do mesmo nível, é necessário cuidado na sua execução de maneira a respeitar a plenitude do modelo [28]. Para uma consulta mais detalhada sobre a estrutura do modelo e a função específico de cada camada aconselha-se a leitura do documento bibliográfico [28].

Concluindo o que já foi revisto, o modelo IFC é visto como a melhor resposta aos problemas de interoperabilidade na indústria AEC, permitindo ultrapassar obstáculos e ineficiências que se opõem ao desenvolvimento tecnológico nesta indústria. É de extrema importância perceber que o modelo IFC não é apenas um modelo orientado para a representação de objetos, mas sim um formato para representação de um modelo de construção.

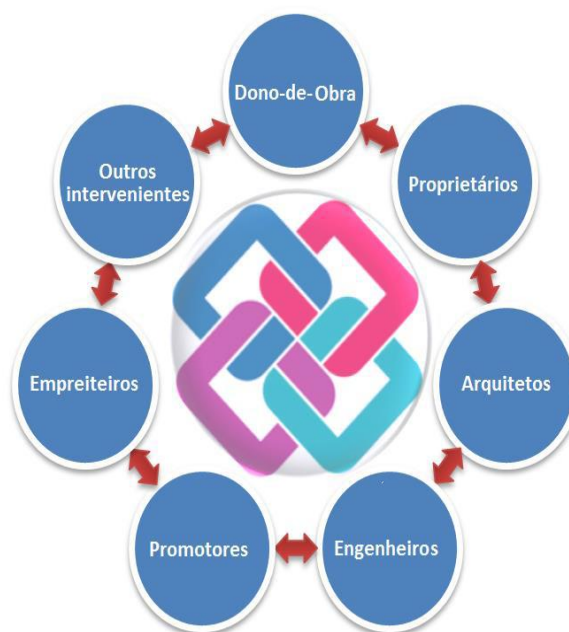


Fig. 28 - O formato IFC como principal resposta aos problemas de interoperabilidade na indústria AEC [27]

Apesar de atualmente o formato IFC ser a melhor resposta aos problemas de interoperabilidade, não significa que o mesmo não apresente problemas de comunicação e perdas de informação entre os vários intervenientes de um projeto, principalmente quando esses intervenientes utilizam softwares específicos que não são totalmente compatíveis. Deste modo, é crucial perceber o atual nível de implementação deste modelo num projeto de construção, assim como o atual desenvolvimento do mesmo.

Vários estudos de implementação do modelo IFC em casos reais vêm demonstrar que é de facto possível implementar o modelo IFC a nível de projeto, no entanto, o sucesso dessa aplicação é diretamente proporcional à capacidade de troca de dados entre as diferentes aplicações. Tal facto, vem reforçar a ideia que os produtores de softwares têm um papel determinante no processo de partilha de informação, na medida que lhes cabe a eles a criação da interface da sua aplicação com o modelo IFC, o adaptador de interoperabilidade [8]. O uso de uma aplicação compatível com o modelo IFC é meio caminho para ultrapassar os problemas de interoperabilidade (no caso de estudo é utilizado o software ArchiCAD). Contudo, nem sempre é fácil compatibilizar um software com o formato IFC, principalmente quando o produtor do software não estiver familiarizado com o formato. Vários

estudos neste âmbito tentaram reduzir o esforço decorrente da compatibilização através do uso de ferramentas intermediárias.

Posteriormente, analisar-se-á mais profundamente a aplicação do modelo IFC a um caso de estudo, em que se irá perceber a relação entre o modelo IFC e um método para avaliação da qualidade de projetos de habitação.

4

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO AUTOMÁTICA DO MÉTODO MC-FEUP

4.1. ASPETOS GERAIS

Uma vez que se pretende desenvolver uma rotina de verificação automática, para propósitos de avaliação de qualidade de projetos de edifícios de habitação, importa analisar em primeiro lugar tais disposições a verificar, de modo a identificar quais os indicadores passíveis de representação no modelo e, conseqüentemente, na rotina de verificação.

Antes de mais, importa primeiro referir os aspetos em que um guia de qualidade poderá contribuir de forma positiva num projeto habitacional, e daí averiguar a possível utilidade de verificar automaticamente um método de avaliação de qualidade de projetos. Seguidamente, importa apresentar as razões das metodologias adotadas neste capítulo.

Retirando algumas conclusões presentes em [29], é importante sobretudo perceber que as ocorrências de não-qualidade em edifícios cuja causa original remonta às fases de projeto ou planeamento da construção (principalmente a primeira) assumem amplitudes consideráveis – cerca de um terço a metade dos custos totais de reparação de todas as deficiências construtivas detetadas. Tal facto revela-se como uma das principais razões para a elaboração de um método/guia deste tipo, visto ser na fase de Projeto que o nível técnico dos intervenientes é mais elevado, que as condições de trabalho são mais favoráveis, que as diferentes alternativas podem ser analisadas e especificadas de forma eficaz, que as propostas finais podem ser devidamente confrontadas com todas as exigências regulamentares, construtivas e outras relevantes, antes de serem colocadas em execução. Uma consequência natural do que aqui foi descrito é o facto de que será nas fases iniciais (fase de projeto) que as oportunidades para influenciar o produto final serão maiores e com custos inerentes mais baixos. É neste âmbito que revisão de projetos apresenta um papel fulcral no processo. Em suma, é na fase de projeto que todas as discussões devem tomar lugar.

Por outro lado, os próprios utilizadores de edifícios de habitação, na sua maioria não especialistas do setor construtivo, encontram-se profundamente desapoitados numa das principais escolhas da sua vida, e cujas consequências económicas irão condicionar durante largos anos. A opção por uma dada habitação em relação a outra baseia-se, frequentemente, em aspetos considerados secundários como a cor da pintura ou o tipo de mobiliário [29].

É nesta medida que, a utilização de um guia de avaliação de qualidade de projetos se revela tão importante, visto auxiliar todos os intervenientes, no processo, a controlar as soluções optadas,

principalmente em fase de projeto. Neste sentido, a automatização desta tarefa constitui uma enorme vantagem no apoio à decisão de um projetista que desenvolva o seu projeto em ambiente BIM.

O método considerado no caso de estudo para garantia de qualidade de projetos de edifícios de habitação é o método MC-FEUP. A principal razão pela escolha deste método deve-se, essencialmente, pela sua formalidade, isto é, adequa-se bem ao desenvolvimento de um fluxo de informação formal, logo, à partida, apto à verificação automática. Outras razões que contribuíram para a sua escolha são as seguintes: (1) ser um método português; (2) ser baseado noutros métodos europeus, o Método QUALITEL e o Método SEL; (3) apresentar um método de avaliação bastante intuitivo; (4) apresentar uma multidisciplinaridade bastante abrangente; (5) e o facto de ser adaptável às *rulesets* presentes no software usado para verificar automaticamente o modelo objeto de estudo, o SMC. A única desvantagem que apresenta é o facto de a sua elaboração datar 15 anos. No entanto, a opção por qualquer outro método, ou até mesmo uma legislação nacional, poderia ser, do mesmo modo, viável para efeitos de verificação.

4.2. MÉTODO MC-FEUP

Este método, desenvolvido por J. M. Costa em 1995 no seguimento de uma tese de doutoramento [29], procura abranger as vertentes que mais condicionam a vivência quotidiana dos utilizadores e a eficiência global, a curto e a longo prazo, do edifício. Do mesmo modo que o método SEL, prevê uma hierarquia de objetivos cujo objetivo principal é, naturalmente, a qualidade da habitação.

Para o efeito este método engloba dois complexos de objetivos denominados de:

- Eficiência de Aspetos Construtivos – Que avalia o modo como é feita a materialização física dos diversos elementos de construção, bem como a sua capacidade de satisfazer as necessidades correntes da utilização da habitação [29];
- Eficiência da Utilização de Espaços, em que serão avaliados os espaços colocados à disposição dos futuros utilizadores, em termos de número, finalidade, dimensões e organização [29].

Ambos os objetivos foram desenvolvidos numa filosofia de estrutura em árvore, e deste modo, são apresentados na Tabela 3 os objetivos superiores contemplados.

Tabela 3 - Objetivos Superiores do Método MC-FEUP

MC FEUP Objetivos Superiores	
Complexo de objetivos	Objetivos Superiores
Eficiência de Aspetos Construtivos	Segurança Estrutural
	Segurança Contra Incêndio
	Conforto Ambiental
	Durabilidade de Materiais Não-Estruturais
	Eficiência e Manutenção de Instalações
Eficiência de Utilização de Espaços	Conceção Espacial de Zonas Privativas
	Utilização de Zonas Comuns do Edifício

Os Objetivos Superiores apresentados a negrito serão objeto de verificação automática, na presente dissertação. Os Objetivos Superiores não abordados dizem respeito a temas de elevada complexidade neste âmbito, dado que o tempo disposto para elaboração desta dissertação não se revelou compatível com o estudo desses Objetivos, não querendo significar que não possam ser objeto de uma verificação automática.

Na descrição de cada Objetivo Superior encontra-se associado a regulamentação aplicável, a definição de Objetivos Parciais e correspondentes Objetivos-Critério e Critérios de Avaliação, bem como fichas de Critérios de Avaliação. Estas últimas são relativas a cada Critério e compreendem três partes: uma descrição genérica do objetivo, um procedimento de avaliação proposto e diretivas sobre o modo de aplicação, assim como observações sobre as razões que determinaram a escolha do Critério.

Neste método, o nível de satisfação nos diversos critérios de avaliação é quantificado numa escala de zero a quatro, conforme o descrito na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantificação quantitativa dos Critérios de avaliação no Método MC-FEUP

Nota	Situação de projeto verificada
0	Não cumpre as disposições regulamentares em vigor ou as exigências mínimas de avaliação
1	Solução de projeto com um nível de qualidade Insuficiente
2	Solução de projeto com um nível de qualidade Médio
3	Solução de projeto com um nível de qualidade Bom
4	Solução de projeto com um nível de qualidade Muito Bom

Sendo assim, o nível de qualidade Insuficiente corresponde a soluções de projeto caracterizadas pela observância estrita dos limites regulamentares ou das exigências mínimas de avaliação, enquanto o nível Muito Bom corresponde a soluções de alta eficiência de utilização de espaços, de comportamento e durabilidade de materiais e instalações ou outras situações equivalentes [31].

4.3. O MÉTODO MC-FEUP NA ÓTICA DO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

4.3.1. ASPETOS GERAIS

Neste capítulo não só se pretende entrar em pormenor na análise ao Método MC-FEUP, como também às características que o tornam apto para suportar processos de verificação automática. As dinâmicas entre os indicadores de avaliação de qualidade presentes neste método e o software usado para avaliação automática serão o principal foco deste capítulo.

4.3.2. INTERAÇÃO ENTRE O MÉTODO E O PROCESSO DE VERIFICAÇÃO

O método MC-FEUP, conforme já referido, apresenta um conjunto de características que o tornam num bom candidato a ser avaliado por processos de verificação automática. Em foco neste capítulo está, sobretudo, a dinâmica entre o mesmo e o software usado para a sua verificação automática, o SMC. Este método apresenta um conjunto de parâmetros que facilitam a sua adequação ao desenvolvimento de um fluxo de informação formal. Consequentemente, os critérios avaliados são adaptáveis às regras presentes no SMC, o que torna possível o desenvolvimento de um processo de verificação completo. As características que o tornam ideal são:

- Critérios de avaliação maioritariamente quantitativos;
- Abordagem simples e direta;
- Baseado em métodos europeus;
- Critérios de avaliação adaptáveis às *rulesets* do SMC;
- De acordo com a regulamentação nacional em vigor;
- Distribuição por níveis de qualidade.

Após análise detalhada do mesmo, averiguou-se que os critérios de avaliação usados, dependendo de caso para caso, apresenta quase sempre parâmetros quantificáveis através de unidades métricas (Fig. 29).

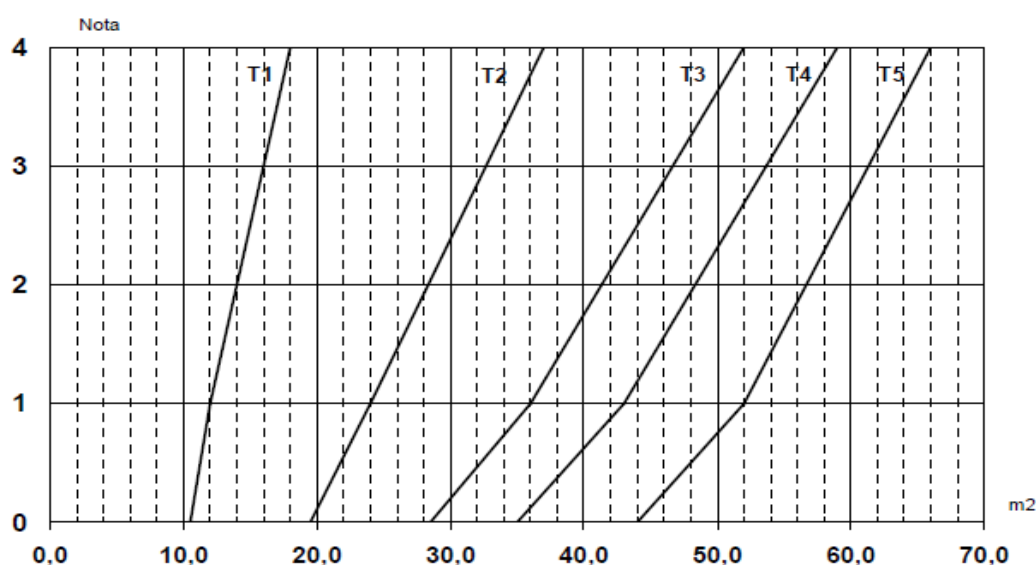


Fig. 29 - Avaliação de parâmetros do Método MC-FEUP graficamente [29]

É possível também verificar que a determinação dos níveis de qualidade é bastante intuitiva, através da utilização, quase sempre, de um gráfico de análise simples. A relação dos parâmetros com o projeto de arquitetura é, também, muito simples, abordando parâmetros inteiramente adaptáveis às *rulesets* do SMC.

Se os fatores analisados até agora favorecem o método no que diz respeito à verificação automática, convém também referir alguns aspetos que dificultam, ou até tornam mesmo impossível, alguns aspetos do processo:

- Dificuldade em representar num modelo de informação, aspetos de observação direta – Por exemplo, identificar se “perto de uma caixa de escadas existe um extintor”. Tratam-se de aspetos intuitivos para o ser humano, mas bastante completos em termos de modelação, já que, não só é necessário identificar tais situações, como também atribuir-lhes um valor quantitativo, tornando-os extremamente subjetivos [8];
- Limitação introduzida pelas *rulesets* presentes no SMC - A impossibilidade de introdução de novas *rulesets* torna a verificação de muitas das regras presentes no método MC-FEUP impossíveis de introduzir na rotina de verificação, pelo que nos resta adaptar as regras existentes no SMC aos parâmetros abordados pelo método MC-FEUP. Ao referido acrescenta-se o facto de o SMC ter como principal propósito a verificação a integridade de modelos de informação, através da deteção incompatibilidade e erros no modelo. Com efeito, as regras existentes apresentam-se limitadas a esse objetivo. Estes aspetos torna o SMC muito limitado no concerne ao Licenciamento Automático de Projetos;
- Abordagem de alguns aspetos que requerem uma maior complexidade do modelo de informação - Alguns aspetos presentes no método MC-FEUP requerem um LOD superior ao requerido para a fase de projeto, afastando-se do principal objetivo deste estudo. Um requisito essencial deste tipo de verificação automática é não introdução de custos acrescidos no processo. Neste sentido, não é suposto o projetista ter de enriquecer o modelo para além do necessário para cumprir os requisitos de projeto.

4.3.3. MULTIDISCIPLINARIDADE DO MÉTODO MC-FEUP

No caso de projetos de edifícios, e tendo em conta o carácter multidisciplinar do método MC-FEUP, a verificação completa deste método iria requerer especificações elaboradas por projetistas das mais diversas especialidades, não estando subordinados apenas a um projeto geral. Tal como foi a apresentado em 4.2., os objetivos superiores requeridos para uma análise completa do método englobam a análise de:

- Segurança Estrutural;
- Segurança Contra Incêndio;
- Conforto Ambiental;
- Durabilidade de Materiais Não-Estruturais;
- Conceção Espacial de Zonas Privativas;
- Utilização de Zonas Comuns do Edifício.

A verificação completa do método MC-FEUP iria requerer a apreciação simultânea de elementos provenientes de diferentes projetos, além de um nível de desenvolvimento e de detalhe extremamente avançado, o que levaria a exigir um modelo de complexidade superior ao que seria exigido caso não fossem empregados meios de verificação automática. Este tipo de questões multidisciplinares encontra-se fora do limite de abordagem do programa utilizado na verificação automática. Como tal decidiu-se limitar a abordagem do método a três Objetivos Superiores: (1) a Segurança Contra Incêndio; (2) a Conceção Espacial de Zonas Privativas; (3) e a Utilização de Zonas Comuns do Edifício.

Apresentam-se de seguida exemplos (Fig. 30, Fig. 31 e Fig. 32) que ajudam a perceber tanto a complexidade de alguns critérios abordados e a multidisciplinaridade do método em estudo, como a dificuldade, ou até mesmo a impossibilidade, de adaptação de algumas regras às *rulesets* do SMC. Com os exemplos apresentados pretende-se demonstrar os seguintes aspetos:

- A multidisciplinaridade do método, abordando aspetos dos mais diferentes projetos;
- A consideração de interfaces entre projetos diferentes aumenta consideravelmente a complexidade dos modelos necessários à tarefa de verificação automática;
- Dificuldade de verificar na totalidade o método recorrendo ao software *Solibri Model Checker*, limitando a aplicação da verificação automática a três Objetivos Superiores;
- Alguns indicadores em estudo conferem alguma discricionariedade a quem verifica a sua conformidade regulamentar uma vez que são baseadas em parâmetros qualitativos, [2] por exemplo no ponto I.1.1 referente à última figura quando se refere ao dever de os revestimentos possuírem “resistência adequada a pequenos choques”;
- Conforme já foi mencionado, algumas verificações sob o ponto de vista computacional, são simples para o ser humano. Por exemplo, a identificação de elementos construtivos e a sua associação com respetivas funções é, normalmente, uma tarefa bastante exigente para um programa informático, embora seja intuitiva e fácil para a generalidade das pessoas [2]. Um exemplo concreto disso é o ponto representado na Fig. 32, na avaliação de localização de “extintores de pó químico tipo 8 por piso, localizados junto da caixa de escadas e extintores suplementares junto dos quadros elétricos acústicos”.

OS		SEGURANÇA ESTRUTURAL	
OP	B	SUPERESTRUTURA	
OC	B.3.	DIMENSIONAMENTO	
CA	B.3.2.	ESFORÇOS ENVOLVENTES EM ELEMENTOS HORIZONTAIS	1/2

Descrição

Os elementos horizontais de suporte do edifício - lajes e vigas - deverão ser dimensionados para os esforços resultantes das combinações de acções relevantes, nomeadamente alternância de sobrecargas, obtidos por via automática.

Avaliação

Nota	Situação
4	Os elementos horizontais encontram-se dimensionados para todas as combinações de acções previstas para a estrutura global, que incluem as três hipóteses de alternância de sobrecarga - vãos ímpares, vãos pares e adjacentes a cada apoio. Os esforços são obtidos por via automática.
3	Os elementos horizontais encontram-se dimensionados para todas as combinações de acções previstas para a estrutura global, incluindo a alternância de sobrecarga, em vãos ímpares e vãos pares. Os esforços são obtidos por via automática.
2	Os elementos horizontais encontram-se dimensionados para todas as combinações de acções previstas para a estrutura global, mas não incluem a alternância de sobrecargas. Os esforços são obtidos por via automática.
0	Os elementos horizontais foram dimensionados de forma independente da estrutura global ou sem recurso a via automática.

Fig. 30 - Exemplo de um Critério avaliado no Método MC-FEUP [29]

OS		CONFORTO AMBIENTAL	
OP	E	CONFORTO TÉRMICO	
OC	E.1.	CONFORTO TÉRMICO DE INVERNO	
CA	E.1.2.	CONTRIBUIÇÃO DE GANHOS SOLARES	1/2

Descrição	
O efeito positivo dos ganhos solares úteis através dos envidraçados voltados ao quadrante Sul deverá contribuir para uma maior eficácia térmica da habitação mas sem assumir uma influência demasiado marcante.	
Avaliação	
Nota	Situação
4	$(Nic + GSU/Ap) \leq Ni$ e $(GSU/Ap) \geq 0.10 Nic$
3	$(Nic + GSU/Ap) \leq Ni$ e $(GSU/Ap) < 0.10 Nic$
1	$(Nic + GSU/Ap) > Ni$
0	A análise da habitação segundo o RCCTE é omissa.

Fig. 31 - Exemplo de um Critério avaliado no Método MC-FEUP [29]

OS		SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	
OP	D	MEIOS DE ATAQUE	
OC	D.2.	INTERIOR DO EDIFÍCIO	
CA	D.2.2.	EXTINTORES	1/1

Descrição

O edifício deverá dispor de extintores em cada piso, junto das escadas de acesso vertical, e igualmente próximo dos quadros eléctricos gerais.

Avaliação

Nota	Situação
4	Existe um extintor de pó químico tipo 8A por piso, localizado junto da caixa de escadas e extintores suplementares junto dos quadros eléctricos gerais do edifício. Junto de cada extintor existe um botão de alarme ligado a um sistema de alerta acústico.
3	Existe um extintor de pó químico tipo 8A por piso, localizado junto da caixa de escadas e junto destes um botão de alarme ligado a um sistema de alerta acústico.
2	Existe um extintor de pó químico de tipo não especificado por piso, localizado junto da caixa de escadas.
1	Existe um extintor de pó químico de tipo não especificado por piso, em local igualmente não definido.
0	Não existem extintores nas zonas comuns do edifício.

Fig. 32 - Exemplo de um Critério avaliado no Método MC-FEUP [29]

4.3.4. RELAÇÃO ENTRE O LOD E OS PARÂMETROS DO MC-FEUP

Tendo em conta que a maioria dos parâmetros podem ser verificados sem recurso a cálculo, a maior ou menor complexidade pode ser determinada através do LOD requerido por cada parâmetro a introduzir na rotina de verificação. Contudo, existem vários fatores que determinam a maior ou a menor complexidade de um modelo para verificação automática. No capítulo anterior foram já referidos alguns pontos que simplificam a verificação automática de alguns parâmetros relativamente a outros. Foi também referido que alguns parâmetros são complexos de aferir por meios informáticos, dada a sua ambiguidade, e requererem extrema sobreposição entre projetos de diferentes especialidades, embora sejam simples de verificar por meios manuais. O que se pretende averiguar neste capítulo é se a variação do LOD entre os diferentes parâmetros a avaliar introduz um acréscimo de complexidade ao ponto que não seja viável a sua verificação automática.

Tal como proposto pelo Professor João Pedro Poças Martins no seguimento da sua tese de doutoramento [2], admite-se que é possível estabelecer modelos de informação aptos para efetuar qualquer tipo de verificação automática, embora possam ser inadequados por duas razões distintas:

- *Modelos demasiado complexos: A complexidade dos modelos de informação não incentiva a sua adoção por parte da comunidade técnica. Um dos sintomas apontados para a gestão ineficiente de informação consiste na comunicação demorada entre intervenientes. Considera-se que a implementação de procedimentos que obriguem à introdução de um volume de dados*

consideravelmente superior àquele que é exigido pelas práticas correntes tenderá a corrigir um problema – neste caso, um problema da entidade responsável pela verificação da qualidade do projeto – ao mesmo tempo que cria outro – ao projetista. Não se considera razoável que, para garantir a verificação inteiramente automática de uma disposição regulamentar simples se obrigue o projetista a definir quantidades de informação excessivas. Recorda-se que um objetivo deste tipo de trabalhos é identificar formas de incentivar a adoção de novas tecnologias na fase de projeto o que seria manifestamente contrariado por um procedimento com estas características;

- *Modelos demasiado simples: É possível efetuar a verificação de conformidade de um projeto exclusivamente com base nas declarações do projetista, exigindo-lhe que confirme explicitamente a conformidade com cada um das disposições regulamentares. Uma abordagem deste tipo aproxima-se claramente da abordagem tradicional, baseada no termo de responsabilidade do projetista. Tem algum interesse no sentido da desmaterialização de processos e na clarificação de responsabilidades, mas para além destes objetivos, o seu impacto seria relativamente diminuto.*

Por conseguinte, conclui-se que há vantagem em manter algumas verificações manuais, mas, simultaneamente, deve-se automatizar a verificação das disposições mais aptas para esse fim [2].

Foi já referido anteriormente, em 2.4.2., que o LOD pode sofrer uma variação substancial de regra para regra (neste caso de Critério para Critério), de acordo com as especificações e pormenores que o mesmo contém. Apesar de, na sua generalidade, o método MC-FEUP não apresentar parâmetros que requerem um LOD elevado, existem parâmetros pontuais que exigem um maior detalhe para sua posterior verificação por processos automáticos (Fig. 33). Através da Fig. 33, infere-se que a atribuição de diferentes níveis de qualidade é dependente da respetiva especificação do extintor, no caso da passagem do nível 2 para o nível 4, tendo o mesmo que estar especificado como “extintor de pó químico seco do tipo ABC”. Tal verificação requer um LOD extremamente elevado, que conforme analisado, não se apresenta uma opção minimamente desejável. No entanto, uma opção que pode, à partida, resolver este tipo de problemas pontuais é utilização de famílias de objetos provenientes de fornecedores (neste caso o objeto disponibilizado por um fornecedor de extintores). Com a crescente vulgarização do BIM, várias empresas dentro do sector da construção, têm apostado na criação das suas próprias bibliotecas de objetos, como forma de incentivo à comercialização dos seus produtos. Tal facto revela-se vantajoso para ambas as partes, para o projetista não tem qualquer tipo de trabalho acrescentado na criação dos objetos, e para o fornecedor que, deste modo, promove a comercialização do seu produto através da introdução do mesmo num modelo de projeto BIM, tornando também, deste modo, mais fácil a sua encomenda e respetiva manutenção do produto. Este procedimento torna o crescimento de LOD relativamente fácil, expedito e, sobretudo, desejável do ponto de vista da verificação automática, não somando custos acrescidos ao projeto.

OS		SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	
OP	D	MEIOS DE ATAQUE	
OC	D.1.	INTERIOR DA HABITAÇÃO	
CA	D.1.1.	EXTINTORES	1/1

Descrição

Deverá encontrar-se prevista a instalação de um extintor de pó químico seco tipo ABC na cozinha, próximo da porta de acesso a este compartimento, mas nunca junto do local de instalação de fogão ou forno.

Avaliação

Nota	Situação
4	Encontra-se prevista a instalação de extintor de pó químico tipo ABC no interior da cozinha, em local próximo do acesso a esta.
2	Encontra-se prevista a instalação de extintor de pó químico de tipo não especificado, em local da habitação não definido.
0	Não se encontra prevista a instalação de extintor na habitação.

Fig. 33 - Exemplo de um parâmetro avaliado no Método MC-FEUP que requer elevado LOD [29]

4.4. CONCLUSÕES DA ANÁLISE DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO AUTOMÁTICA DO MÉTODO MC-FEUP

Neste capítulo apresenta-se um conjunto de conclusões da análise efetuada. Estas conclusões são importantes, tanto para definição do tipo de modelo a elaborar, como para a definição dos parâmetros passíveis de adaptar às *rulesets* do SMC.

Os parâmetros de avaliação da qualidade de projetos de habitação, abordados no método MC-FEUP, foram analisados com o propósito de avaliar a sua aptidão para serem verificados de forma automática ou manual. O Anexo 2 apresenta uma tabela que resulta da análise, Critério a Critério, do método em estudo.

Tal como foi abordado em capítulo próprio, o conjunto de Objetivos Superiores aptos para verificação automática reduziram-se apenas a três: (1) Segurança Contra Incêndios; (2) Conceção Espacial de Zonas Privativas; e (3) Utilização de Zonas Comuns do Edifício. Este conjunto de parâmetros foi selecionado de acordo a sua adaptabilidade às *rulesets* presentes no SMC. Essas mesmas *rulesets*, conforme já foi mencionado, apresentam parâmetros que as tornam suscetíveis à utilização em regulamentos de acessibilidades, segurança contra incêndios e validação espacial em edifícios. Observou-se que a generalidade dos parâmetros pode ser sujeita a uma verificação automática, porém, num conjunto muito limitado de casos, a verificação automática não se apresenta vantajosa dado que as dificuldades associadas são superiores ao benefício retirado, ou então a sua excessiva simplicidade desaconselha a sua validação por processos automáticos. Nesse conjunto limitado, verifica-se que a avaliação com recurso a processos manuais pode ser conferida através de uma leitura rápida das peças desenhadas e escritas. Neste contexto, apurou-se que a verificação automática é praticamente

complementada pela verificação de cariz manual, contribuindo, deste modo, para uma verificação mais completa.

Foi também referenciado o impacto que alguns parâmetros poderão ter no volume de informação a introduzir pelo projetista no modelo de informação, e consequentemente no LOD do próprio modelo.

Este conjunto de reflexões leva a concluir que, como também se poderá inferir adiante, o SMC apresenta-se como uma plataforma pouco flexível no que diz respeito à criação de novas regras. Tal facto limita a verificação a apenas três Objetivos Superiores.

5

CASO DE ESTUDO

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Tendo já sido definidas as linhas base para realização de uma rotina de verificação automática, importa agora proceder à execução da mesma.

A aplicação prática tem como objetivo proceder à validação automática de regras presentes num guia de avaliação de qualidade de projetos de habitação, ao servir como uma espécie de ferramenta-guia de boas práticas à equipa projetista nas mais diversas especialidades abordadas no método em estudo.

Para a validação do caso de estudo escolheu-se um modelo de exemplo presente no software Autodesk Revit 2016, visto tratar-se de um modelo de acesso público. O modelo de informação escolhido (Fig. 34) corresponde a uma habitação T3 unifamiliar com 2 pisos, com área e estacionamento exterior. O software usado para preparação do modelo para verificação automática foi o ArchiCAD 18, dada a sua compatibilidade com o modelo IFC. O uso de uma aplicação compatível com o modelo IFC facilita a troca de informação com a aplicação usada na verificação automática, dado esta aplicação comunicar diretamente com o modelo através do formato IFC. Em capítulo próprio irá ser feita uma análise aprofundada à preparação do modelo, de acordo com os requisitos definidos no método de avaliação de qualidade de projetos de habitação em estudo.



Fig. 34 - Modelo tridimensional do edifício em estudo

Para efeitos de classificação tanto de espaços físicos, quer seja compartimentos ou espaços físicos abertos, como de qualquer elemento presente no modelo, é utilizado o sistema de classificação Omniclass. No Anexo 3 é apresentada uma tabela que especifica todos os elementos e compartimentos necessários à verificação de cada critério do método MC-FEUP, assim como a respetiva referência da classificação Omniclass normalizada para o mesmo.

A escolha de uma aplicação BIM para verificação automática do modelo recaiu, conforme já mencionado, no *Solibri Model Checker*. O SMC é uma aplicação que tem vindo a ser cada vez mais utilizada no contexto da validação automática de modelos de informação em formato IFC (sem necessidade de dispor de conhecimentos de programação), visto se apresentar a única plataforma disponível para acesso público.

Conforme já foi referido, a fundamentação base para a escolha de Método MC-FEUP é a facilidade de adaptação das regras presentes no mesmo às *rulesets* presentes no SMC, permitindo assim uma verificação o mais íntegra possível. Com efeito, é simples perceber que quanto mais completa for a verificação de um caso de estudo, maior e mais espontânea é a contribuição para a disseminação dos BIM na indústria AEC, assim como é maior o valor acrescentado a um tema ainda imaturo na sua aplicação.

5.2. METODOLOGIA DE ANÁLISE

Para execução prática do caso de estudo referido é utilizada a metodologia proposta em [4], universalmente aceite pela comunidade científica e utilizada como base em muitos outros casos de estudo no âmbito. A estrutura da metodologia analisada pode ser muito resumidamente descrita em quatro fases distintas: (1) Interpretação das regras a verificar e estruturação lógica das mesmas para poderem ser convertidas em linguagem de programação; (2) Preparação do modelo de verificação; (3) Verificação automática das regras a verificar; (4) Criação de mecanismos para produção de outputs gráficos ou de documentação escrita.

5.3. INTERPRETAÇÃO DAS REGRAS PRESENTES NO MÉTODO MC-FEUP

A primeira fase deste processo, tal como já especificado, compreende a definição e interpretação de todas as regras presentes no Método MC-FEUP em linguagem humana e a sua conversão num sistema lógico que permita a sua interpretação por um sistema informático. Isto requer percorrer o método, Critério a Critério, e avaliar cada regra separadamente, averiguando a possibilidade de aplicação das mesmas numa rotina de verificação automática. Tendo em conta que o objetivo do método é a avaliação de projetos de habitação por níveis de qualidade de zero a quatro, cada Critério terá que ser validado, quando possível e no máximo, em quatro níveis de verificação, isto é, um Critério que apresente um nível de qualidade quatro terá de verificar tanto o nível quatro, como os níveis anteriores de qualidade (os níveis um, dois e três). Na generalidade dos casos, a cada Critério são aplicados quatro *rulesets*, correspondendo a quatro níveis de qualidade diferentes. É importante referir que, na maioria dos Critérios, a atribuição do nível de qualidade 0, é conferida por exclusão de partes, isto é, se um Critério não valida nenhum dos níveis superiores, dever-se-á atribuir nível 0 ao respetivo. Na Tabela 5, no Anexo 2, é apresentado um resumo da interpretação destas regras com indicação da possibilidade de verificação automática ou manual de cada Critério, assim como a *ruleset* do SMC aplicada a cada um deles.

Por razões já referidas, o modelo IFC é o formato usado como meio para a troca de dados entre o modelo de projeto e o modelo de verificação. Posto isto, analisou-se a correspondência entre os demais Critérios do Método MC-FEUP e o modelo IFC. A análise atenta do método denunciou três tipos de correspondência entre os elementos requeridos por cada Critério e as entidades IFC [8]:

- Correspondência direta – quando o modelo IFC possui uma entidade que define diretamente a classe ou objeto requerida pelo método;
- Correspondência indireta – quando o modelo IFC possui um conjunto de objetos, isto é, uma classe, mas não os especifica;
- Correspondência indeterminada – quando o modelo IFC não possui entidades que se associem aos objetos requeridos pelo modelo;

Um exemplo de uma correspondência indireta é na definição de espaços. O modelo IFC permite definir os espaços através da definição dos respetivos *property sets*, que estabelecem as propriedades características, como o nome, o posicionamento relativo no edifício, entre outros. A Fig. 35 apresenta o seu processo conceptual.

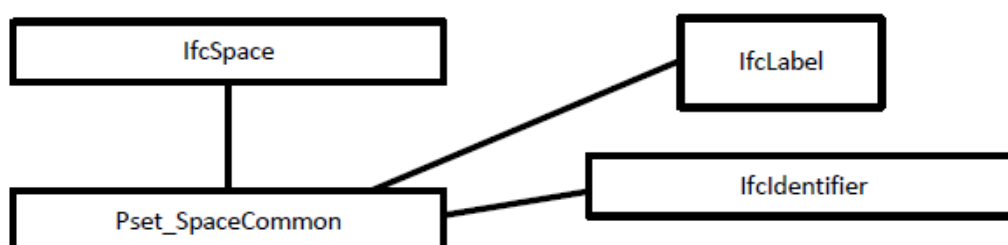


Fig. 35 - Processo conceptual de entidades a percorrer para definição do tipo de espaço [8]

Recorrendo ao uso de um exemplo de uma correspondência indireta de [8], para os casos onde existe uma nova variável não reconhecida pelo modelo IFC, mas que utiliza uma unidade de medida pertencente ao sistema internacional. A correspondência é realizada através da entidade *IfcLabel* para atribuir um nome à variável e posteriormente, a entidade *IfcUnitEnum* que irá permitir a inclusão da mesma numa listagem juntamente com as restantes unidades de medida não fundamentais (Fig. 36).

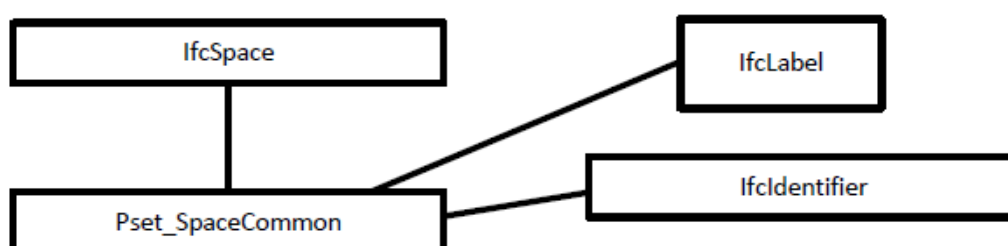


Fig. 36 - Processo conceptual de entidades a percorrer para definição de novas unidades do sistema SI [8]

Tendo em conta o já referido, torna-se primordial referir que o objetivo principal da aplicação destas regras é que as mesmas sejam de aplicação universal, ou seja, de possível aplicação à generalidade dos modelos de informação, caso contrário não teria qualquer lógica proceder a uma verificação automática. Como tal para cada regra/critério foi estruturado um sistema lógico para consequente aplicação a nível informático, como se pode examinar mais detalhadamente no seguinte capítulo. Para cada Critério foram definidos os parâmetros mensuráveis para posterior introdução numa rotina de verificação, e, tardiamente, a adaptação de cada um às *rulesets* do SMC.

Um dos objetivos desta fase do processo é, também, a clarificação de algumas ambiguidades presentes em alguns Critérios à medida que se vai revendo o método detalhadamente. Algumas expressões utilizadas em alguns critérios dificultam a interpretação do mesmo para posterior introdução numa rotina de verificação. Por exemplo, veja-se o caso do Critério que requer que “o extintor esteja próximo do local de acesso” à cozinha. Neste caso a inclusão da palavra próximo introduz ambiguidade à regra, que poderia ser substituída por um parâmetro mensurável, como por exemplo: “extintor esteja no máximo a 3 metros do local de acesso”.

Nos subcapítulos seguintes irá se perceber como se pode introduzir cada Critério detalhadamente numa rotina de verificação automática.

5.3.1. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

A segurança contra incêndio é o segundo dos sete Objetivos Superiores avaliados no Método MC-FEUP, que surge devido à crescente importância da segurança contra incêndios em edifícios e ao surgimento de regulamentação, em 1990, que se encontra em contínua atualização desde então. A avaliação deste Objetivo Superior será efetuada pelos seguintes Objetivos Parciais [29]:

- C – Segurança Passiva, relativo à forma como as soluções construtivas adotadas poderão contribuir para uma menor probabilidade de propagação de focos de incêndio e facilitar a evacuação de pessoas nas situações de sinistro;
- D – Meios de Ataque, que analisará a existência de equipamento adequado ao ataque às chamas nas diversas zonas do edifício, bem como a acessibilidade pelos serviços de Bombeiros.

5.3.1.1. Critério C.1.1. – Isolamento de Escadas de Acesso Vertical

O seguinte Critério tem como objetivo avaliar se as escadas de acesso vertical do edifício deverão encontrar-se convenientemente isoladas dos locais onde, previsivelmente, poderão ocorrer focos de incêndio, permitindo a evacuação dos ocupantes do edifício, incluindo o atravessamento dos níveis onde ocorra o sinistro [29]. A validação deste Critério corresponde a dois níveis de verificação (2 e 4) distintos de acordo com a Fig. 37. No entanto, tendo em conta a adaptação deste Critério às *rulesets* do SMC, apenas é possível aplicar a verificação até ao nível 2.

Nota	Situação
4	As escadas de acesso vertical do edifício encontram-se enclausuradas.
2	As escadas de acesso vertical do edifício não se encontram enclausuradas mas todos os compartimentos dos pisos elevados possuem saída de emergência.
0	Outras condições não contempladas nas notas 2 ou 4.

Fig. 37 - Avaliação do Critério C.1.1. [29]

A verificação correspondente ao nível 2, neste caso a única a ser realizada, requer a definição das escadas de acesso vertical no modelo IFC e, para cada compartimento individual dos pisos superiores, identificar a existência de saídas de emergência, quer seja portas ou janelas com escadas de emergência para o exterior. A verificação correspondente ao nível 4 tem como objetivo verificar se as escadas definidas como acesso vertical se encontram enclausuradas, ou seja, se contém paredes à volta, de maneira a isolá-las dos restantes compartimentos. A interpretação desta regra num sistema

lógico não parece exigir grande dificuldade, bastando apenas que, a aplicação que execute a verificação do modelo valide se as escadas de acesso vertical pertencem ou não a um compartimento isolado.

No entanto, e conforme também já foi mencionado, o SMC não permite a verificação do Critério para a obtenção do nível 4 de qualidade, não existindo nenhuma *ruleset* possível de adaptar a tal uso. Contudo, a possibilidade de adicionar novas regras no SMC através de uma API pública permitiria executar esta regra em linguagem informática e introduzi-la numa rotina de verificação.

5.3.1.2. Critério C.1.2. – Revestimento em Zonas de Circulação Comuns

O Critério C.1.2. tem com principal objetivo verificar se as comunicações horizontais comuns que correspondam a circuitos de evacuação em situação de incêndio se encontram revestidas com materiais que impeçam a propagação de incêndio, garantindo a segurança dos utentes em fuga [29]. A validação deste Critério corresponde a dois níveis de verificação distintos (3 e 4) de acordo com a Fig. 38. Contudo, conforme se pode inferir após leitura da figura, a avaliação da regra em análise requer, caso não sejam utilizados objetos previamente desenvolvidos e que contenham a informação requerida, um nível de detalhe incompatível com o propósito da verificação automática em estudo, exigindo a definição da classe de reação ao fogo dos materiais que servem de revestimento nas zonas de circulação comum. O nível de detalhe exigido para execução desta verificação apresenta-se excessivamente elevado, exigindo ao projetista a elaboração de um modelo demasiado complexo, afastando-se do propósito que sustenta a execução de uma rotina de verificação automática. Do mesmo modo, tendo em conta que o caso de estudo, e consequentemente a própria rotina de verificação, diz respeito a habitações unifamiliares, a avaliação não apresenta qualquer fundamento de realização, visto que ao se consultar as observações relativas a este Critério, o autor atribui nível de qualidade 4 a todas as habitações unifamiliares.

Nota	Situação
4	Os materiais utilizados para revestimento de paredes, pavimentos e tectos são de classes de reacção ao fogo iguais ou superiores às seguintes: <ul style="list-style-type: none"> • Edifícios com altura < 28 m : M2 • Edifícios com altura ≥ 28 m : M1.
3	Os materiais utilizados para revestimento de paredes, pavimentos e tectos são de classes de reacção ao fogo iguais às seguintes: <ul style="list-style-type: none"> • Edifícios com altura < 28 m : M2, excepto pavimentos M3 • Edifícios com altura ≥ 28 m : M1, excepto pavimentos M2.
0	Os materiais utilizados para revestimento de paredes, pavimentos e tectos não cumprem as exigências indicadas nas situações anteriores.

Fig. 38 - Avaliação do Critério C.1.2. [29]

No entanto, apesar de não haver sentido de aplicação deste Critério ao caso de estudo, é importante realçar os aspetos que permitem que o mesmo seja inserido numa rotina de verificação, isto é, a possibilidade de se converter numa regra capaz de ser interpretada por um sistema informático. Para validação tanto do nível 3 como do nível 4, o projetista terá que introduzir no modelo, informação relativa à classe de reação ao fogo dos revestimentos nas zonas de circulação comum, bastando a aplicação de verificação validar a existência de tais propriedades introduzidas nos objetos em análise. No modelo IFC, a definição de novas propriedades é materializada por via da entidade *IfcPropertyDefinition*.

5.3.1.3. Critério D.1.1. – Extintores

O seguinte Critério tem como objetivo dominante o de avaliar a existência de um extintor de pó químico seco tipo ABC na cozinha, próximo da porta de acesso a este compartimento. Como se pode averiguar na Fig. 39, a validação deste Critério corresponde a dois níveis de verificação distintos (2 e 4), sendo que a avaliação de nível zero é atribuída caso não se verifiquem as restantes.

Nota	Situação
4	Encontra-se prevista a instalação de extintor de pó químico tipo ABC no interior da cozinha, em local próximo do acesso a esta.
2	Encontra-se prevista a instalação de extintor de pó químico de tipo não especificado, em local da habitação não definido.
0	Não se encontra prevista a instalação de extintor na habitação.

Fig. 39 - Avaliação do Critério D.1.1. [29]

A verificação correspondente ao nível 2 de qualidade é quase direta, bastando para tal que a aplicação valide a existência do objeto definido como “extintor”. A diferença desta para a verificação de nível 4 é a exigência da definição do tipo de extintor (pó químico ABC), ou seja, o projetista para verificação completa deste Critério terá de introduzir informação relativa à propriedade referida. Do mesmo modo, terá de verificar se o objeto definido como “extintor”, com a propriedade “pó químico tipo ABC”, se localiza no compartimento definido no modelo como “cozinha”. Existe outro aspeto, nesta verificação, que introduz uma ambiguidade na verificação, esse aspeto exige que o extintor se encontre “próximo” do acesso a este compartimento. Para conversão desta regra em linguagem informática, a mesma terá de ser traduzida em parâmetros mensuráveis, eliminando as ambiguidades presentes no Critério. Com efeito, a palavra “próximo”, que é a que introduz ambiguidade à regra, terá de ser substituída por um valor métrico. O valor métrico que se achou razoável introduzir, tendo em conta que a verificação objeto de estudo é relativa a habitações unifamiliares T3, foi o “de no máximo dois metros”. Em suma, para executar a verificação correspondente ao nível 4, a aplicação não só terá de verificar a existência do objeto definido como “extintor” no compartimento definido como “cozinha”, como também terá de validar a propriedade “pó químico tipo ABC” e limitar a máxima distância entre este e o acesso da cozinha em dois metros.

A definição do extintor no modelo IFC é considerada uma correspondência indireta, visto ser dada por uma entidade que define um conjunto de objetos, ou seja, uma classe, mas não a específica. Essa correspondência é realizada por via da entidade *IfcFireSuppressionTerminalType*. A entidade *IfcLocalPlacement* também se apresenta útil neste sentido, na medida em que verifica a posição relativa do local pretendido, neste caso para identificar a localização do extintor no interior da cozinha. Outra tarefa a realizar no âmbito desta verificação é a definição de um compartimento específico, neste caso a cozinha, que como se verá adiante se trata de uma correspondência indireta, através da entidade *IfcSpace*. Mais adiante analisar-se-á detalhadamente este tipo de correspondências. No que diz respeito à introdução de novas propriedades num modelo IFC, e conforme já se tinha analisado, as mesmas são materializadas por via da entidade *IfcPropertyDefinition*. Outra entidade genérica que ainda não foi referenciada, e que se revela importante, é *IfcRelationship*, a qual define os cinco tipos fundamentais de relações do modelo IFC [8]: atribuição de ligações internas, associação de informação externa, decomposição dos conceitos gerais, definição de propriedades e conectividade entre objetos. Esta entidade irá estabelecer a relação entre o extintor e o acesso da cozinha, ou seja a porta. É quase prescindível dizer que a porta tem correspondência direta com o modelo IFC por via da entidade *IfcDoor*.

5.3.1.4. Critério D.2.1. – Rede de Incêndio Armada

O principal objetivo deste Critério é avaliar a existência de uma Rede de Incêndio para ataque às chamas, dimensionada para uma simultaneidade de utilização e pressões disponíveis adequadas. A verificação deste Critério corresponde a 3 níveis de verificação distintos (2, 3 e 4), conforme se pode deduzir através da Fig. 40. Este Critério não será objeto de verificação automática, pois ele é apenas aplicado a edifícios multifamiliares, porém pertence ao Objetivo Superior em estudo e, por conseguinte, há todo o interesse na sua interpretação para efeitos de verificação automática.

Nota	Situação
4	Existe uma Rede de Incêndio Armada, com bocas de incêndio e mangueiras com carretel nas zonas comuns de cada piso com um raio de ação máximo de 20.0 m, reserva de água no edifício e pressão mínima em cada boca de 25.0 mca.
3	Existe uma Rede de Incêndio Armada, com bocas de incêndio e mangueiras de carretel nas zonas comuns com um raio de ação máximo de 20.0 m, ligada à rede pública e sem indicação da pressão mínima disponível em cada boca.
2	Existe uma coluna seca.
0	Não está previsto nenhum sistema de ataque às chamas com utilização de água.

Fig. 40 - Avaliação do Critério D.2.1. [29]

Começando por analisar a verificação correspondente ao nível 2 de qualidade, é notoriamente fácil a sua interpretação num sistema lógico que integre uma rotina de verificação automática, bastando para tal, validar a existência de uma coluna seca. Pelo contrário, a validação dos níveis 3 e 4 já não se revelam do mesmo grau de facilidade, sendo que para o caso de estudo seria impossível da sua adaptação a uma *ruleset* do SMC.

A validação de uma Rede de Incêndio Armada com ligação à rede pública já por si só se revela extremamente difícil, dado que além de não apresentar qualquer correspondência no modelo IFC, também está fora do âmbito do modelo IFC representar serviços de rede pública.

5.3.1.5. Critério D.2.2. – Extintores

O objetivo deste Critério passa por avaliar a existência de extintores em cada piso, junto das escadas de acesso vertical, e igualmente próximo dos quadros elétricos gerais. A verificação deste Critério corresponde, apenas, a quatro níveis de verificação distintos (1,2,3 e 4), conforme se pode inferir através da Fig. 41. No entanto, tendo em conta que o caso de estudo, e consequentemente a própria rotina de verificação, diz respeito a habitações unifamiliares, a avaliação não apresenta qualquer fundamento de realização, visto que ao se consultar as observações relativas a este critério, o autor atribui o mesmo nível de qualidade que o Critério D.1.1.

Nota	Situação
4	Existe um extintor de pó químico tipo 8A por piso, localizado junto da caixa de escadas e extintores suplementares junto dos quadros eléctricos gerais do edifício. Junto de cada extintor existe um botão de alarme ligado a um sistema de alerta acústico.
3	Existe um extintor de pó químico tipo 8A por piso, localizado junto da caixa de escadas e junto destes um botão de alarme ligado a um sistema de alerta acústico.
2	Existe um extintor de pó químico de tipo não especificado por piso, localizado junto da caixa de escadas.
1	Existe um extintor de pó químico de tipo não especificado por piso, em local igualmente não definido.
0	Não existem extintores nas zonas comuns do edifício.

Fig. 41 - Avaliação do Critério D.2.2. [29]

Semelhante ao primeiro nível de verificação dos outros Critérios, a verificação correspondente ao nível 1 de qualidade é notoriamente simples, bastando, para tal, que a aplicação valide a existência de um objeto definido como “extintor”.

No que diz respeito à verificação do nível seguinte, o nível 2, além da tarefa equivalente à verificação correspondente ao nível anterior, a aplicação também terá de estabelecer um limite de distância em relação à caixa de escadas. Porém, semelhante ao Critério D.1.1., é necessário eliminar a subjetividade inerente a este nível. Tal subjetividade é introduzida pela exigência de localização do extintor “junto” da caixa de escadas. A subjetividade terá de ser substituída por uma especificação mensurável, para possível introdução numa rotina de verificação. O valor métrico que se achou razoável introduzir, tendo em conta que a verificação objeto de estudo é relativa a habitações unifamiliares T3, foi o “de no máximo um metro e meio”.

No que diz respeito à verificação de nível 3, a diferença é assinalada, mais uma vez, pela especificação do extintor como “pó químico tipo 8A”, uma propriedade específica do extintor que terá de ser introduzida no modelo pelo projetista. Do mesmo modo, a aplicação de verificação terá de validar a existência do objeto definido como “botão de alarme”, e, mais uma vez, terá de limitar a sua distância em relação à caixa de escadas, substituindo a expressão “junto” por um valor métrico. Este valor métrico segue a mesma lógica que a verificação do nível anterior, ou seja, “um metro e meio”.

A principal diferença da verificação correspondente ao nível 4, em relação ao nível anterior, é a validação de extintores suplementares, sendo que a estes é exigida a sua localização “junto aos quadros eléctricos gerais do edifício”. Seguindo a mesma coerência, a expressão “junto” é substituída pelo valor métrico de “um metro e meio”.

No que concerne à correspondência destes elementos com o modelo IFC, a maior parte dos quais já foram clarificados anteriormente, a novidade é introduzida pelo “botão de alarme” e pelo “quadro eléctrico geral”. É importante referenciar que o botão de alarme apresenta correspondência direta, por via da entidade *IfcAlarm*. Do mesmo modo, o quadro eléctrico apresenta correspondência direta com o modelo IFC, através da entidade *IfcSwitchingDevice*.

5.3.1.6. Critério D.3.1. – Marcos de Incêndio

O objetivo deste Critério é avaliar a disponibilidade de água para utilização pelos serviços de bombeiros em ataque a partir do exterior, que deverá estar garantida por marcos de incêndio

convenientemente posicionados. A verificação do mesmo corresponde apenas a um nível de verificação (4), conforme se pode inferir através da Fig. 42.

Nota	Situação
4	Existem marcos de incêndio, no exterior do edifício, a uma distância não superior a 30 m de qualquer saída de emergência do mesmo.
0	Não existem marcos de incêndio no exterior do edifício.

Fig. 42 - Avaliação do Critério D.3.1. [29]

A verificação a realizar resume-se a validar a existência do objeto definido como “marco de incêndio” e limitar a distância perpendicular entre as saídas de emergência do edifício e os marcos de incêndio em 30 m.

Esta verificação é bastante simplificada com a utilização do modelo IFC, dado que os marcos de incêndio apresentam correspondência direta com uma entidade do modelo IFC, a *IfcFireSupressionTerminalType*. Outras entidades que terão de ser acedidas para executar esta verificação são a *Pset_DoorCommon*, de maneira a definir a porta como porta de saída, e a *IfcRelationship* para estabelecer a relação entre os elementos.

5.3.1.7. Critério D.3.2. – Acesso para viaturas

O seguinte Critério tem como objetivo avaliar a acessibilidade de viaturas de Bombeiros, sendo que a mesma deverá estar garantida a toda a envolvente do edifício com aberturas para o exterior. A verificação deste Critério corresponde a quatro níveis de verificação dissemelhantes (1,2,3 e 4), conforme se pode inferir através da Fig. 43.

Nota	Situação
4	O edifício é acessível em todas as fachadas com aberturas, por vias de acesso com, pelo menos, 7.0 m de largura, situadas a um máximo de 15.0 m de distância.
3	O edifício é acessível em duas fachadas opostas, por vias de acesso com, pelo menos, 7.0 m de largura, situadas a um máximo de 15.0 m de distância.
2	O edifício é acessível apenas por uma fachada, por via de acesso com, pelo menos, 7.0 m de largura, situada a um máximo de 15.0 m de distância.
1	O edifício é acessível por vias de acesso situadas entre 15.0 e 30.0 m de distância.
0	As vias de acesso ao edifício encontram-se a mais de 30.0 m de distância.

Fig. 43 - Avaliação do Critério D.3.2. [29]

A verificação correspondente ao nível 1 de qualidade é conceptualmente simples, desde que estejam definidas as vias de acesso ao edifício, bastando para tal limitar a distância destas às fachadas do edifício numa distância entre 15 m e 30 m.

Em relação ao segundo nível de qualidade, existe uma ligeira diferença em relação à distância exigida. Neste caso, é exigida uma distância de 15 m entre a fachada e a via de acesso. Relativamente à largura da via de acesso, o modelo IFC não consegue validar dimensões de espaços físicos abertos, como se verá detalhadamente em 5.3.3.3.. Neste nível de verificação é também exigida que a via de acesso seja acessível a apenas uma fachada.

A verificação dos níveis superiores são conceptualmente muito parecidas, sendo que única diferença reside no número de fachadas acessíveis em caso de incêndio. Enquanto o nível 3 exige apenas duas fachadas opostas acessíveis, o nível 4 requer todas.

Relativamente à correspondência destes elementos com o modelo IFC, a singularidade em relação aos outros critérios está na introdução das vias de acesso, sendo necessário classificar o espaço físico correspondente às mesmas. Quer isto dizer que as mesmas terão correspondência indireta com o modelo IFC, através da entidade *IfcSpace*. Outro elemento que ainda não tinha sido abordado é a parede de fachada, que apresenta correspondência indireta através da entidade genérica *IfcWall*. A definição da parede fachada é, como já se averiguo, essencial para validação deste critério. O modelo IFC permite fazê-lo através da definição dos respetivos *Property Sets*, neste caso através da *Pset_WallCommon*.

5.3.2. CONCEÇÃO ESPACIAL DE ZONAS PRIVATIVAS

A conceção espacial de zonas privativas é o sexto dos sete Objetivos Superiores avaliados no Método MC-FEUP, que surge não só devido à crescente importância da organização e atribuição dos espaços dentro de uma habitação, mas também pela preocupação em elaborar um documento o mais exaustivo possível na análise das diversas componentes que influenciam o resultado final do projeto de uma habitação. É impensável não referir a importância deste Objetivo Superior no mercado imobiliário, inserindo-se como um fator determinante tendo em conta a atual oferta imobiliária do nosso país.

A avaliação do Objetivo Superior Conceção Espacial de Zonas Privativas será efetuada pelos seguintes Objetivos Parciais [29]:

- R – Atribuição de Espaços, relativo à forma como a área global da habitação é distribuída pelos diversos espaços;
- S – Organização de Espaços, que analisará a posição relativa das diversas zonas autónomas da habitação.

5.3.2.1. Critérios R.1 – Área de Compartimentos

Dada a semelhança entre os vários Critérios presentes, considerou-se como melhor opção incluir todos os Critérios pertencentes ao Objetivo-Critérios Área de Compartimentos (R.1) neste subcapítulo. Este Objetivo-Critério tem como objetivo analisar a área disponível em cada tipo de compartimento existente na habitação; compreende os seguintes critérios [29]:

- R.1.1. – Individuais - A superfície dos espaços individuais deve permitir diferentes disposições de mobiliário e libertar área para uma utilização diversificada do compartimento;
- R.1.2. – Comuns - A superfície dos espaços comuns deverá permitir diferentes disposições de mobiliário além de possibilitar movimentação e utilização com versatilidade;
- R.1.3. – Cozinha - A área da cozinha deverá permitir versatilidade de instalação de equipamentos e mobiliário, facilitando uma utilização múltipla nas diversas fases da vida familiar diária;
- R.1.4. – Instalações Sanitárias - A superfície das instalações sanitárias deverá permitir uma fácil instalação dos diversos equipamentos, além de possibilitar a circulação de pessoas sem constrangimentos e a colocação de mobiliário de apoio;

- R.1.5. – Arrumos - Os espaços para utilização específica devem ser complementados com locais para arrumação de equipamento doméstico (aspirador, aquecedores portáteis, etc.) e outros objetos de utilização mais esporádica (p. ex. material para desporto);
- R.1.6. – Circulações - As zonas de circulação deverão permitir uma fácil acessibilidade aos diversos compartimentos, definição das diversas zonas de utilização autónoma da habitação e colocação de mobiliário;
- R.1.7. – Lavandaria e Secagem da Roupa - Deverá encontrar-se previsto um espaço destinado à lavagem e secagem de roupa, com uma dimensão adequada ao número previsível de utilizadores da habitação.

Todos os Critérios a analisar dizem respeito a verificações que compreendem quatro níveis de verificação distintos, todos eles de análise gráfica, em que cada nível de qualidade corresponde a uma certa área. Cada Critério apresenta valores distintos de acordo com a tipologia das habitações. De acordo com o que já foi mencionado, a análise do nível de qualidade a atribuir a cada Critério é feita por meio de um gráfico semelhante a todos os critérios, excluindo o Critério R.1.7.. A verificação de Critérios com interface de avaliação gráfica realiza-se, quase sempre, através da avaliação de quatro níveis de qualidade, com valores que variam linearmente do nível 1 ao nível 4. Apenas se procede à validação de menos níveis qualidade que os já mencionados quando explicitado especificamente nas observações/diretivas de cada critério. Na Fig. 44 apresenta-se um gráfico a título de exemplo.

Conforme já foi possível constatar, a verificação destes Critérios é conceptualmente muito simples bastando validar a área dos diferentes compartimentos entre determinados valores. A correspondência utilizada para definir os vários compartimentos é, conforme já se tinha visto, indireta, realizada por intermédio da entidade *IfcSpace*. Quanto à medição das áreas dos diferentes compartimentos, já se trata de uma correspondência direta, por meio da entidade *IfcAreaMeasure*.

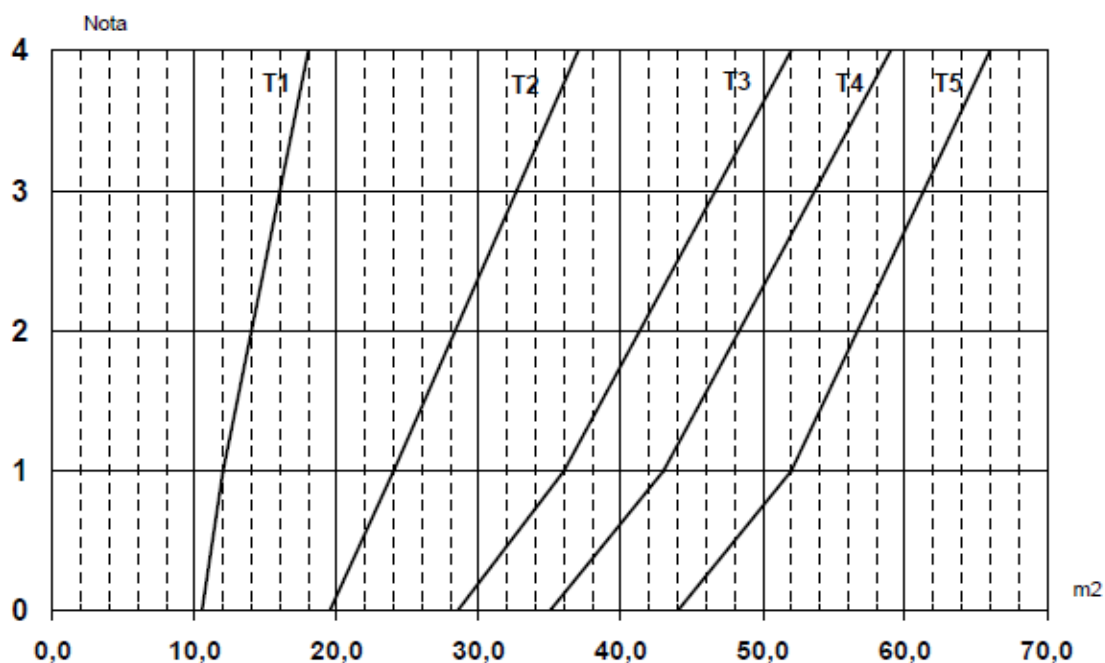


Fig. 44 - Avaliação do Critério R.1.6. [29]

Relativamente ao Critério R.1.7., a verificação do mesmo é também realizada por meio de uma interface gráfica, conforme é possível averiguar pela Fig. 45. Apesar de à primeira vista a validação deste critério dar a impressão de ser notoriamente simples, o mesmo torna-se difícil de introduzir

numa rotina de verificação automática. A dificuldade na sua aplicação reside no facto de a avaliação do mesmo ser feita através da percentagem da área total habitável. Para que a validação automática deste Critério fosse possível, seria necessário converter esta percentagem numa unidade métrica (m²). Contudo, contrabalançando o esforço requerido para realizar essa conversão (sempre que se executasse uma verificação automática) com o esforço requerido para realizar esta avaliação manualmente, considerou-se preferível realizar esta verificação manualmente. Em relação às entidades IFC acedidas para se poder efetuar verificação automática deste critério, são utilizadas as mesmas que os critérios incluídos neste Objetivo-Critérios.

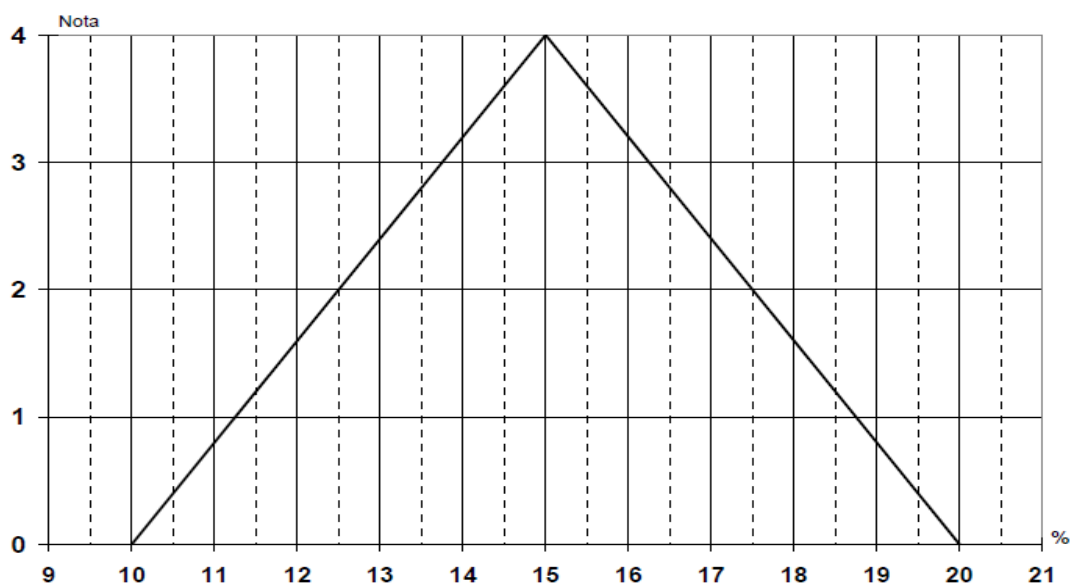


Fig. 45 - Avaliação do Critério R.1.7. [29]

5.3.2.2. Critério R.2.1 – Paredes nas Zonas Individuais

O objetivo base deste Critério é o de avaliar as extensões de paredes planas e sem reentrâncias de forma a possibilitar a instalação de mobiliário versátil nos espaços individuais. A avaliação deste Critério é realizada por meio de uma interface gráfica, em que é atribuído um nível em função dos metros de extensão das paredes móveis nos espaços individuais. No entanto, no gráfico em análise é fornecido o valor em função de m/pessoa. Quer isto dizer que para se poder verificar automaticamente este critério, é necessário converter a unidade m/pessoa em m. Atente-se no gráfico da Fig. 46 e o da Fig. 47, em que o primeiro é retirado diretamente do método MC-FEUP e o segundo é derivado do primeiro mas multiplicando os valores em m/pessoa por 5, que é o número de habitantes que se considerou para a tipologia T3. O número de habitantes que se considerou para a tipologia T3 foi baseado no que refere o Regulamento Geral de Edificações Urbanas (RGEU).

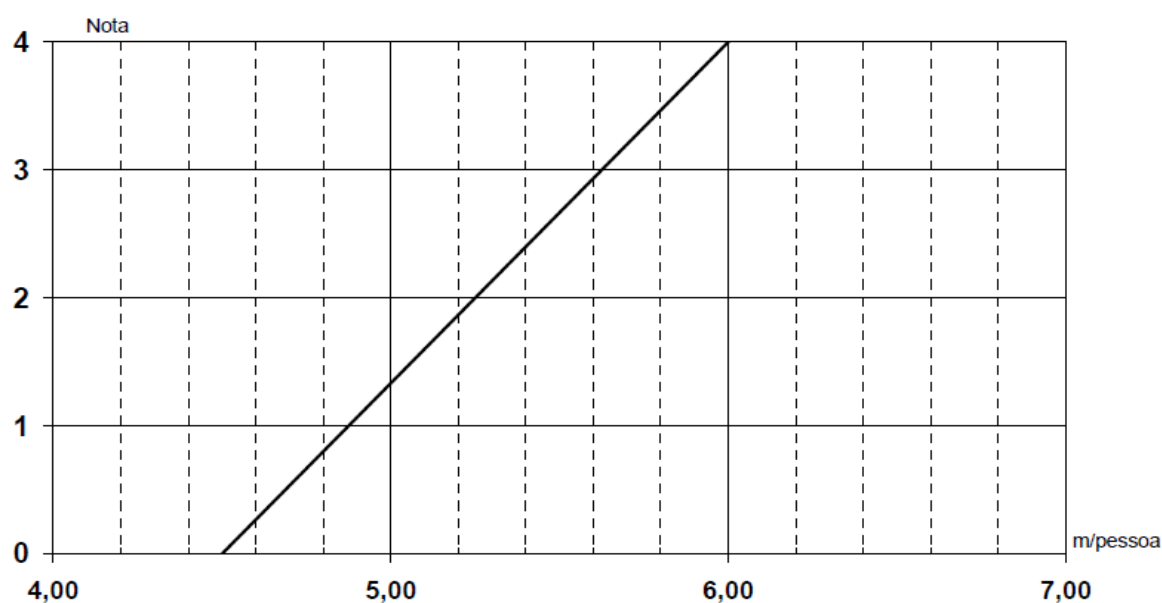


Fig. 46 - Avaliação do Critério R.2.1. [29]

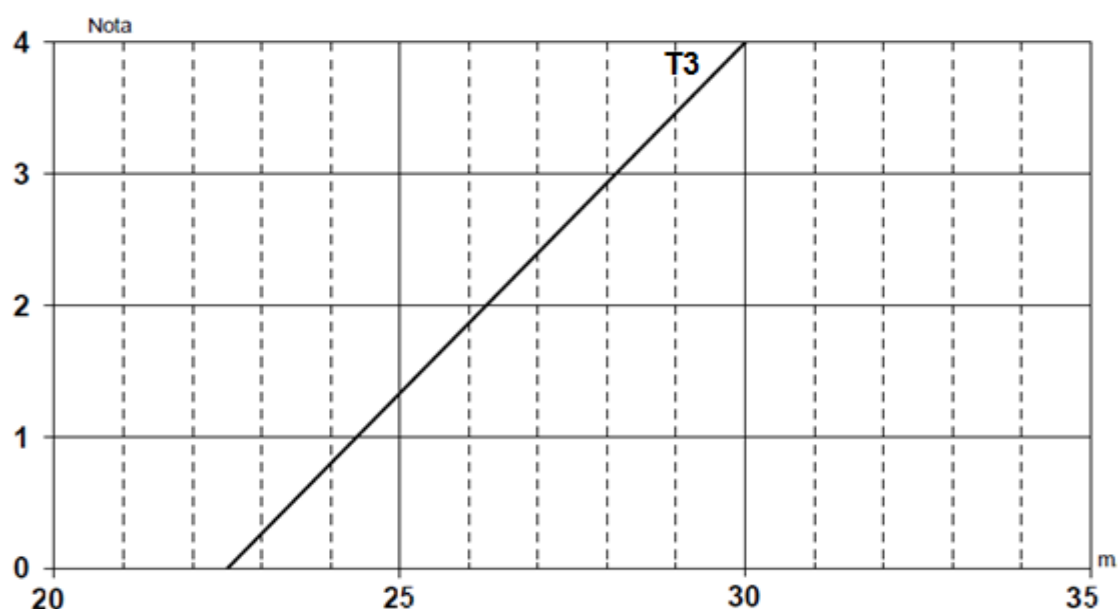


Fig. 47 - Avaliação do Critério R.2.1. em m (para a tipologia T3)

A verificação automática deste Critério consiste em limitar a extensão das paredes nos compartimentos individuais. A interação do mesmo com o modelo IFC também se revela simples, exigindo, quase sempre, correspondências diretas com o modelo. A singularidade introduzida nesta verificação diz respeito à entidade *IfcLengthMeasure*, que se trata duma correspondência direta. Outras entidades requeridas para verificação desta regra já foram anteriormente abordadas, estas são: a *IfcWall*, a *IfcSpace* e a *IfcRelationship*.

Para correta validação deste critério não é necessário que seja corretamente definido o tipo de parede, bastando para tal definir um tipo de paredes padrão que pertençam aos compartimentos individuais. A *IfcRelationship* é acedida com o objetivo de materializar a relação entre o espaço e a parede. Essa relação é materializada mais concretamente materializada por via da *IfcRelSpaceBoundary*.

5.3.2.3. Critério R.2.2. – Paredes nas Zonas Comuns

O objetivo deste Critério é avaliar se os espaços comuns possuem extensões de parede planas e sem reentrâncias de forma a possibilitar a instalação de mobiliário de forma versátil definindo zonas para utilizações múltiplas. A avaliação do mesmo é, mais uma vez, por meio de uma interface gráfica em que é atribuído um nível em função dos metros de extensão das paredes mobiláveis nos espaços comuns. Este critério é em quase tudo semelhante ao anterior, sendo que a diferença reside nos espaços a qual a regra é aplicada, os espaços comuns. A atribuição do nível de qualidade a este critério é realizada de acordo com o comprimento das paredes mobiláveis nos espaços comuns, em metros, por tipologia da habitação a avaliar. Na Fig. 48 pode-se ver a interface gráfica que serve de base à avaliação deste critério.

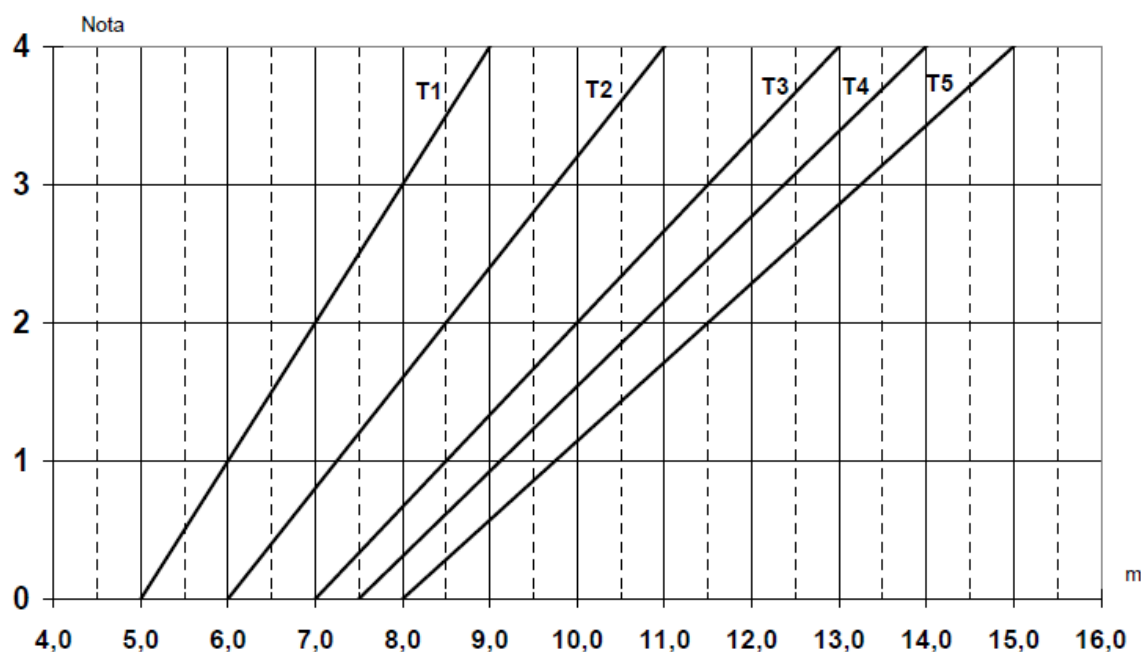


Fig. 48 - Avaliação do Critério R.2.2. [29]

No que diz respeito à conversão deste Critério num sistema lógico capaz de ser introduzido numa verificação automática, pode-se constatar que não existe qualquer diferença conceptual em relação ao critério anterior, podendo se dizer o mesmo da correspondência com o modelo IFC.

5.3.2.4. Critério R.2.3. – Largura de Corredores

O objetivo central deste Critério é avaliar se os corredores e zonas de distribuição da habitação deverão possuir largura suficiente para a instalação de mobiliário sem comprometer a função de circulação. A avaliação do mesmo é, mais uma vez, realizada através da leitura de uma interface gráfica, que atribui um determinado nível de qualidade consoante a largura dos corredores a analisar, sendo que neste caso os valores não dependem consoante a tipologia. Na Fig. 49 apresenta-se o gráfico que serve como base à avaliação deste Critério.

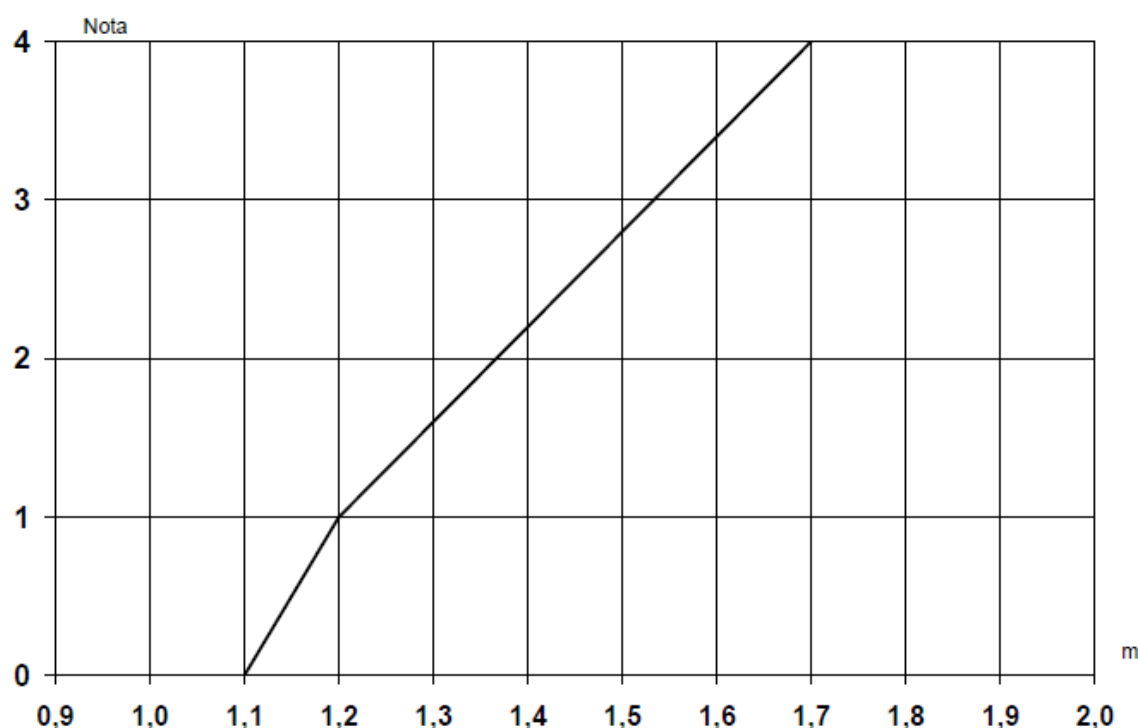


Fig. 49 - Avaliação do Critério R.2.3. [29]

É importante referir que a escala de avaliação apresentada considera [29]:

- Nota 0 correspondendo ao mínimo regulamentar para a situação geral (1,10 m);
- Nota 1 para uma largura de 1,20 m, a qual corresponde ao valor mínimo necessário para a passagem de 2 pessoas – 0,90 m – acrescido do espaço para a instalação de um móvel com 0,30 m de profundidade;
- Nota 4 para uma largura de 1,70 m, igual à largura mínima adicionada do espaço para um móvel de 0,60 m de profundidade.

A conversão deste Critério para uma linguagem interpretável por um sistema informático é conceptualmente simples, bastando apenas limitar a distância entre as paredes que pertencem ao compartimento definido como “corredor”.

A correspondência com o modelo IFC é realizada por via de entidades que já foram referidas nos critérios anteriores, entre as quais: *IfcWall*, *IfcSpace*, *IfcRelationship* e *IfcLengthMeasure*. A correspondência destas entidades com os elementos requeridos pelo critério já foram também abordadas anteriormente.

5.3.2.5. Critério R.2.4. – Prolongamentos Exteriores

Este Critério tem como objetivo avaliar a largura dos prolongamentos exteriores da habitação (varandas, terraços), sendo que deverá permitir a instalação de mobiliário de lazer e uma utilização polivalente. A avaliação do mesmo é efetuada por meio de um gráfico que atribui um determinado nível de qualidade consoante a largura dos prolongamentos exteriores da habitação, apresentada em metros e em função da tipologia da habitação. Na Fig. 50 é apresentado o gráfico que serve de suporte à avaliação deste Critério.

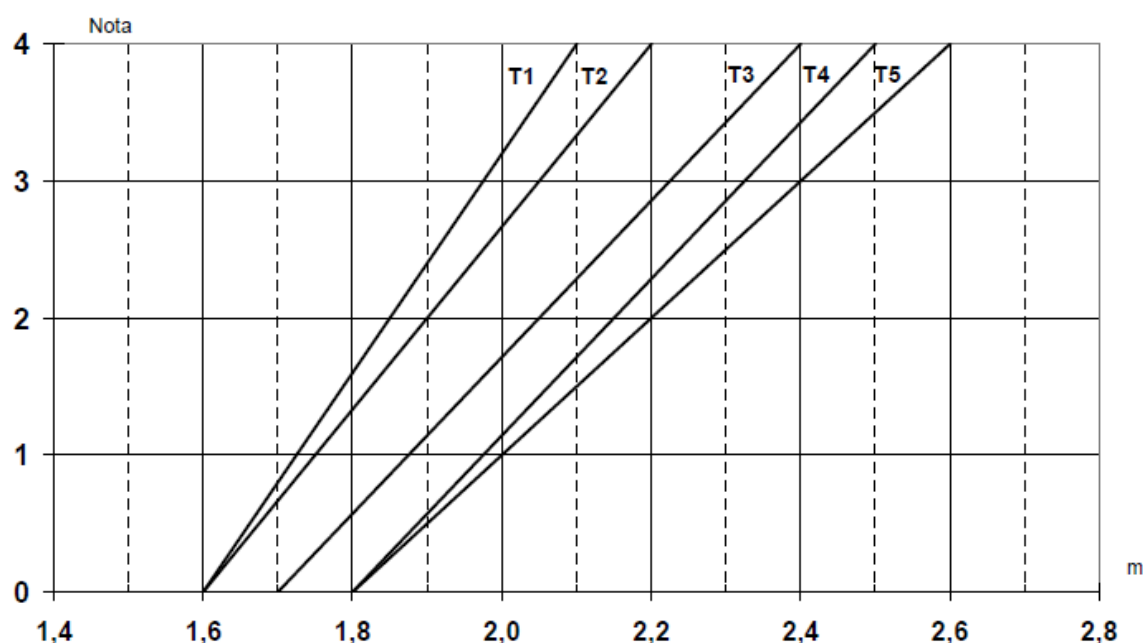


Fig. 50 - Avaliação do Critério R.2.4. [29]

A conversão deste Critério com vista à sua verificação automática consiste em validar a distância entre a parede de fachada e as guardas dos compartimentos definidos como varandas ou terraços, visto ser essa distância que define o prolongamento exterior este tipo de espaços.

As correspondências destes elementos com o modelo IFC são quase sempre correspondências indiretas, sendo que algumas já foram abordadas na análise de Critérios anteriores. A correspondência deste Critério com o modelo IFC que ainda não tinha sido abordada, diz respeito à guardas de proteção em varandas ou terraços, que são materializadas por via da entidade *IfcRailingType*. Outras entidades requeridas por este Critério são: a *IfcWallType*, de maneira a definir as paredes de fachada; a *IfcSpace*, para definir o espaço exterior como varanda ou terraço consoante o caso; a *IfcRelReferencedInSpatialStructure*, para estabelecer, por exemplo, a relação entre as guardas, e espaço exterior a validar; a *IfcLengthMeasure*, para medição da distância entre a fachada e guarda do espaço exterior a validar; e a *IfcRelationship* para estabelecimento de relações genéricas entre os elementos.

5.3.2.6. Critérios S – Organização de Espaços

Dada a semelhança entre os vários Critérios presentes, assim como na sua avaliação, decidiu-se agrupá-los no mesmo subcapítulo. Todos os critérios que irão ser descritos pertencem ao Objetivo Parcial Organização de Espaços, e cujo método em estudo propõe a sequência seguinte de Objetivos-Critérios e Critérios de Avaliação [29]:

- S.1. – Trajetos, em que será analisado o percurso necessário para aceder aos diversos espaços da habitação na perspectiva da sua interferência mútua; compreende os seguintes Critérios:
 - S.1.1. – Entrada - Instalações Sanitárias
 - S.1.2. – Entrada – Cozinha
 - S.1.3. – Entrada – Espaços Comuns
 - S.1.4. – Entrada – Espaços Individuais
 - S.1.5. – Espaços Individuais – Instalações Sanitárias

- S.2. – Associação, em que será analisada a justaposição de compartimentos cujas funções são complementares ou, por outro lado, deverão encontrar-se isoladas; inclui os seguintes Critérios:
 - S.2.1. – Zonas Comuns – Zonas Individuais
 - S.2.2. – Zona de Refeições – Cozinha

O primeiro dos dois Objetivos-Critérios diz respeito, conforme já foi referido, à análise de trajetos entre dois espaços distintos da habitação. As verificações do conjunto dos Critérios que integram este Objetivo-Critérios caracterizam-se por incluírem uma verificação a dois níveis (2 e 4). A rotina de verificação criada tem como objetivo avaliar se o trajeto é direto, ou seja, verificar se o trajeto entre dois espaços, por exemplo entre a entrada e uma instalação sanitária, atravessa uma zona comum ou outros espaços. Atente-se no exemplo do Critério S.1.1. presente na Fig. 51.

Nota	Situação
4	A ligação Entrada-Instalações Sanitárias é directa, passando por uma zona de circulação fechada em relação aos outros compartimentos.
2	A ligação Entrada-Instalações Sanitárias passa pelo limite de uma zona comum (sala de estar ou de jantar).
0	A ligação Entrada-Instalações Sanitárias atravessa as zonas comuns ou outros espaços.

Fig. 51 - Avaliação do Critério S.1.1. [29]

Dada a subjetividade presente na avaliação do segundo nível de avaliação, a sua tradução num sistema lógico interpretável por uma rotina de verificação automática revela-se relativamente difícil. A conversão deste nível de verificação apresenta-se de difícil de corresponder com o modelo IFC, visto não existir qualquer entidade que concretize o que é exigido por este nível, e tendo em conta que o mesmo exige que trajeto passe pelo “limite” de uma zona comum.

Dadas as limitações detalhadas anteriormente, a verificação limita-se ao nível 4 de qualidade. Esta conversão tem como objetivo analisar o trajeto entre dois espaços concretamente definidos dentro de uma habitação, validando se o mesmo se revela direto ou não, ou seja, se atravessa uma zona de circulação fechada em relação aos outros compartimentos. A correspondência desta verificação com o modelo IFC concretiza-se por via da entidade *IfcPath*.

Outras entidades acedidas para concretizar esta verificação foram já explicitadas anteriormente, entre elas estão: a *IfcSpace*, acedida de maneira a definir os espaços de início e de fim da trajetória, assim como os espaços atravessados; *IfcRelationship*, com vista a definir relações genéricas entre os pontos de início e saída e os respetivos espaços, assim como outras relações entre os espaços atravessados na trajetória.

Existe uma particularidade na verificação do Critério S.1.3., tendo a mesma que ser dividida em 2 etapas. Tal facto deve-se este mesmo Critério avaliar dois espaços distintos, a sala de estar e a sala de jantar. Cada etapa avalia a circulação entre a entrada e cada um dos espaços mencionados.

O segundo Objetivo-Critérios diz respeito à organização de espaços numa habitação através da justaposição ou isolamento de compartimentos com funções complementares. As verificações do conjunto dos Critérios que integram este Objetivo-Critérios caracterizam-se por incluírem uma verificação a dois níveis (2 e 4), conforme se pode averiguar pelas Fig. 52 e Fig. 53. Conforme já se tinha analisado no Objetivo-Critérios anterior, o único tipo de verificação passível de ser introduzida numa rotina de verificação, neste âmbito, é a validação do trajeto como direto, quer isto dizer que apenas o Critério S.2.2. pode ser verificado automaticamente através do modelo IFC. A verificação do Critério S.2.1. poderia ser parcialmente verificada no mesmo sentido que S.2.2., no entanto, dada a

facilidade de verificação por observação direta deste critério, opta-se por excluí-lo da lista de critérios a ser verificados automaticamente.

Nota	Situação
4	Na sua distribuição em planta, as zonas comuns e individuais encontram-se separadas por espaços de circulação fechados ou instalações sanitárias.
2	Na sua distribuição em planta, as zonas comuns e individuais encontram-se separadas por espaços de circulação não fechados ou pela cozinha.
0	Na sua distribuição em planta, as zonas comuns e individuais contactam directamente.

Fig. 52 - Avaliação do Critério S.2.1. [29]

Nota	Situação
4	A ligação entre a cozinha e a zona de refeições é directa, sem passar por outros espaços, sendo esta última autónoma ou possível de fechar em relação ao restante espaço comum.
2	A ligação entre a cozinha e a zona de refeições passa por uma zona de circulação, não sendo a distância entre a porta da cozinha e o local da mesa superior a 3.0 m.
0	A ligação entre a cozinha e a zona de refeições passa por uma zona de circulação ou outros espaços, sendo a distância entre a porta da cozinha e o local da mesa superior a 6.0 m.

Fig. 53 - Avaliação do Critério S.2.2. [29]

5.3.3. UTILIZAÇÃO DE ZONAS COMUNS DO EDIFÍCIO

A utilização de zonas comuns do edifício é o último dos sete Objetivos Superiores avaliados no Método MC-FEUP, que surge devido ao facto do atual mercado imobiliário privilegiar soluções de perspetiva comunitária. As despesas energéticas assumem uma importante fatia do rendimento disponível das famílias pelo que a sensibilização a alternativas mais económicas, mesmo que obrigando a prescindir de uma pequena parte da sua privacidade tradicional [29]. Exemplos do que foi referido passam por soluções, em habitações coletivas, como aquecimento e águas sanitárias ou da instalação de unidades industriais de lavagem e secagem de roupa. Outro benefício decorrente deste tipo soluções é libertação de algum espaço na habitação.

Uma outra vertente consiste na disponibilidade de espaços de uso comum que permitam atividades difíceis de realizar na área limitada de um apartamento, isto é, salas de jogos infantis, de recintos para jogos e outros, que poderão assumir eficientemente um papel de extensão da habitação para um conjunto de atividades apenas realizadas de forma mais ou menos espaçada e para as quais seria impossível ou difícil atribuir espaços específicos no interior da habitação em si [29]. Este capítulo pode ser descrito como o Espaço Comunitário, gerido pelo condomínio, as suas valências e o modo como poderá cumprir as funções de prolongamento dos espaços privativos e, por outro lado, garantir um conjunto de situações de conveniência para a utilização diária.

A avaliação deste Objetivo Superior será efetuada pelos seguintes Objetivos Parciais:

- T – No Edifício, em que serão focadas as instalações e espaços disponíveis no interior do mesmo;
- U – No Espaço Envolvente, que analisará as contribuições dos espaços existentes fora do edifício mas de utilização privativa dos moradores neste.

É importante referir que o caso de estudo em análise diz respeito a uma habitação unifamiliar, por conseguinte a avaliação de alguns destes Critérios não apresentam lógica de aplicação. No entanto, tendo como objetivo de realizar uma validação o mais completa possível, fez-se uma adaptação de alguns Critérios para aplicação em habitações unifamiliares. Contudo, todos os Critérios presente neste Objetivo Superior, mesmo os que não apresentem sentido de aplicação, foram traduzidos para uma linguagem lógica e interpretável por uma rotina de verificação automática, de maneira a avaliar a sua possível automatização.

No que diz respeito aos Critérios aplicáveis ao caso de estudo, a validação desses tipos de espaços não é comum a uma habitação corrente, ou seja, não é frequente encontrar-se habitações com espaços físicos reservados para, por exemplo, jogos para crianças ou jardim. Neste tipo de situações, a primeira tarefa a realizar é legitimar a existência destes espaços no modelo de informação. As restantes regras a aplicar estão descritas nos subcapítulos seguintes especificamente para cada critério.

5.3.3.1. Critério T.1.1. – Arrumos

O objetivo deste Critério é avaliar a disponibilidade de espaços de arrumo, privativos, no exterior da habitação, que deverá ser proporcional ao número de utilizadores da mesma, e facilmente acessível a partir das zonas comuns. A avaliação deste Critério consiste na análise de uma interface gráfica, conforme se pode inferir através da Fig. 54. A obtenção do nível de qualidade depende da área, em m², do compartimento em estudo em função da tipologia da habitação. O compartimento avaliado neste Critério tem como finalidade complementar as superfícies de arrumação existentes no interior da habitação por outras localizadas nas zonas comuns, permitindo a transferência de alguns objetos de uso menos frequente (ou sazonal) além do armazenamento de alguns produtos de consumo corrente. Ou seja, este tipo de arrumos apresentam uma finalidade diferente dos referidos no Critério R.1.5., e consequentemente exigem uma área de compartimento maior.

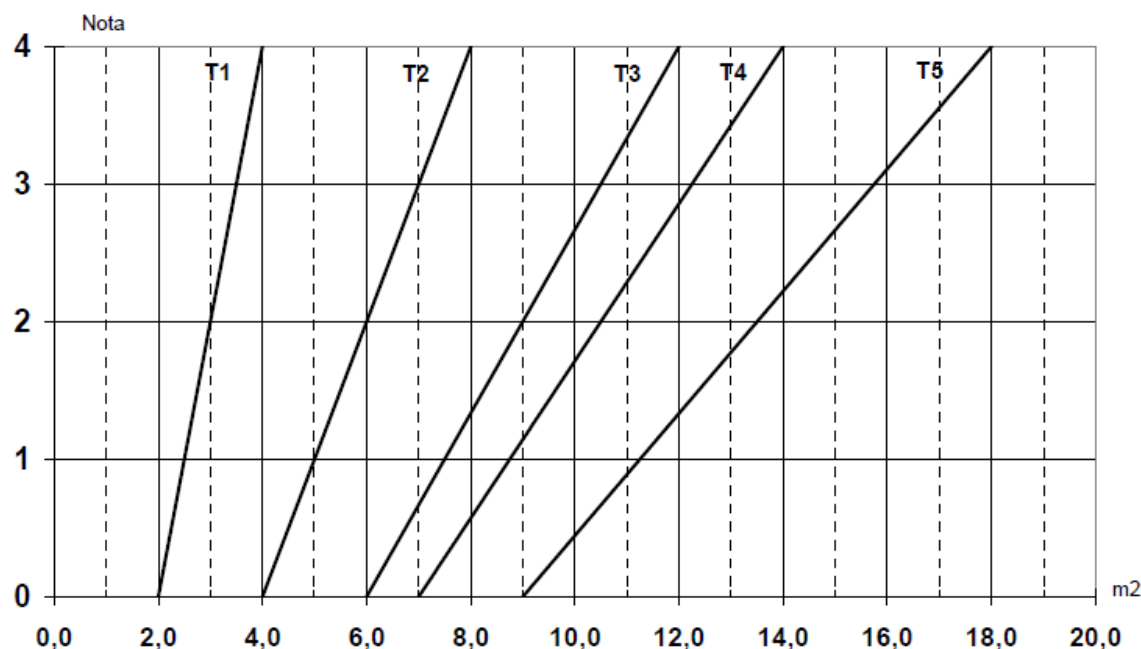


Fig. 54 - Avaliação do Critério T.1.1. [29]

A verificação a realizar resume-se a limitar a área do compartimento definido como “arrumos”, consoante o nível de qualidade a atribuir ao mesmo. A verificação é muito semelhante aos Critérios R.1. analisados anteriormente, e consequentemente a própria correspondência com o modelo IFC.

As entidades IFC acedidas, já anteriormente referidas, para a validação deste critério são: a *IfcSpace*, para definição do compartimento em estudo, os arrumos; e *IfcAreaMeasure* para a medição da área do mesmo.

5.3.3.2. Critérios T.2. – Lazer

Tendo como em conta a semelhança entre os vários Critérios presentes, considerou-se como melhor opção incluir todos os Critérios pertencentes ao Objetivo-Critérios Lazer (R.1) neste subcapítulo. Este Objetivo-Critério tem como objetivo analisar a existência de espaços destinados a atividades lúdicas de adultos e crianças, avaliada através dos seguintes Critérios [29]:

- T.2.1. – Sala de Condomínio;
- T.2.2. – Sala de Jogos Infantis.

A avaliação dos mesmos é realizada por meio de uma interface gráfica que atribui um certo nível de qualidade de acordo com o quociente entre o valor da área do compartimento em estudo e o número de habitantes do edifício, como se pode inferir através das Fig. 55 e 56. A verificação automática deste Critério exige obter o número de habitantes do edifício em estudo cada vez que se pretenda executar a sua validação. Tal facto apresenta-se como um obstáculo à introdução do mesmo numa rotina de verificação automática, tornando-se improvável de convertê-lo num caso genérico. Consequentemente, o mesmo não faz parte da lista de Critérios a serem verificados automaticamente.

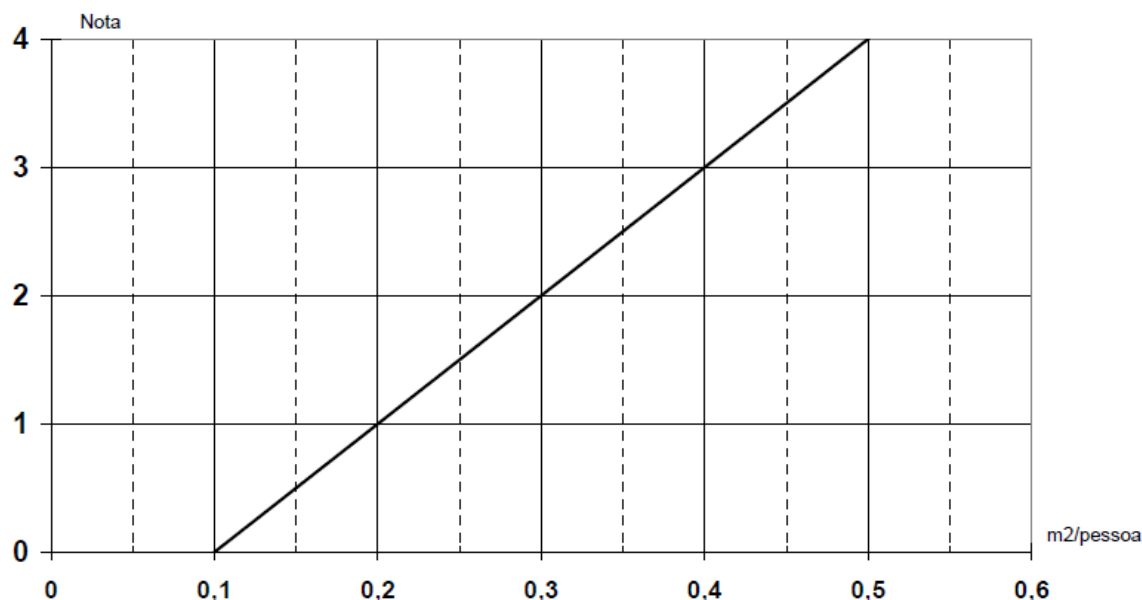


Fig. 55 - Avaliação do Critério T.2.1. [29]

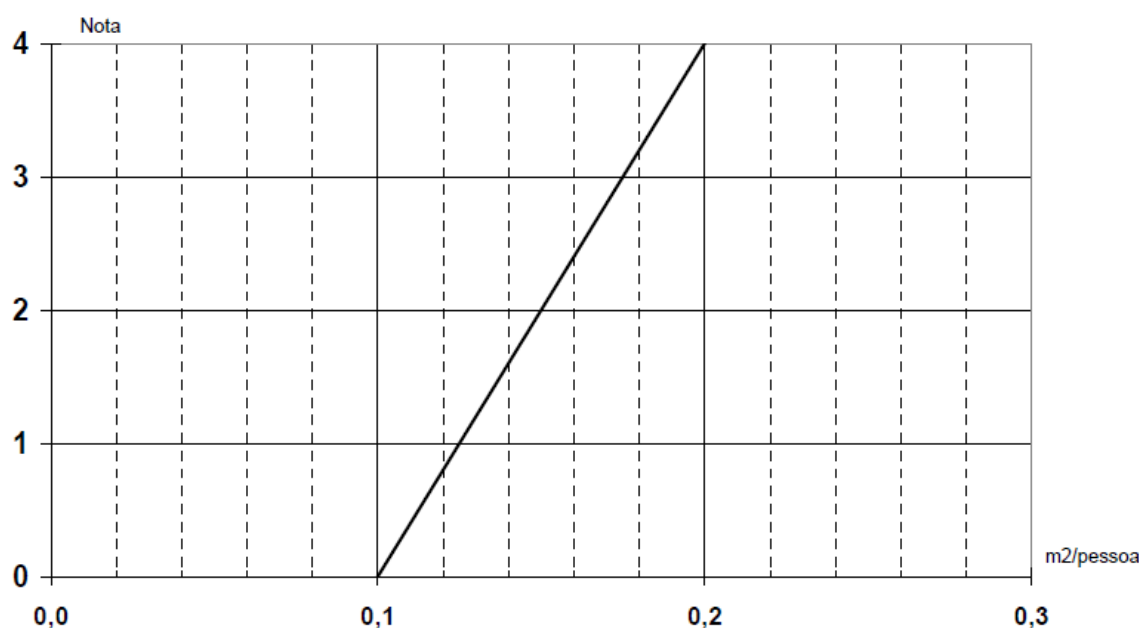


Fig. 56 - Avaliação do Critério T.2.2. [29]

Já se concluiu que estes Critérios não irão integrar o conjunto de regras a serem verificadas automaticamente, no entanto apresenta-se lógica a sua interpretação num conjunto de entidades mensuráveis capazes de integrarem uma rotina de verificação automática. A verificação destes Critérios, conforme já se tinha verificado, requer que quem o aplique saiba o número de habitantes da habitação objeto de estudo. Isto porque o modelo IFC não apresenta qualquer correspondência com um valor em m2/pessoa, ou seja, a esta unidade ter-se-ia que multiplicar o número de habitantes presentes no edifício, validando assim o valor destes compartimentos em m2. Seguidamente, a sua verificação seria semelhante qualquer outro Critério que tenha como objetivo validar áreas de compartimentos. A correspondência com o modelo IFC seguiria a mesma lógica que os Critérios referidos, através das entidades *IfcSpace* e *IfcAreaMeasure*.

5.3.3.3. Critérios T.3.1. e U.2.1. – Aparcamento Automóvel Exterior e Interior

Dada a lógica usada na verificação dos Critérios T.3.1. e U.2.1. ser a mesma, decidiu-se agrupar estes dois critérios neste subcapítulo. No entanto, enquanto o objetivo do Critério T.3.1. é avaliar a existência de aparcamento automóvel individual para cada habitação no interior de um edifício, em estreita ligação com as zonas de acesso vertical e de circulação comuns, o Critério U.2.1. tem como objetivo avaliar a existência de lugares de estacionamento no exterior para uso privativo dos utilizadores e suas visitas.

Enquanto a avaliação do Critério T.3.1. recorre à atribuição de quatro níveis distintos de qualidade descritivos consoante as dimensões previstas para os respetivos lugares de estacionamento respetivos (Fig. 57), a avaliação do Critério U.2.1. recorre à leitura de uma interface gráfica (Fig. 55) que atribui níveis de qualidade consoante os lugares de estacionamento exteriores disponíveis.

No que diz respeito ao Critério T.3.1., a avaliação do mesmo diz respeito a habitações multifamiliares, pelo que a sua aplicação no caso de estudo seria de difícil execução. Do mesmo modo, a validação a sua validação não apresenta total correspondência com o modelo IFC, não sendo, mais uma vez, possível validar dimensões de um espaço físico aberto.

A verificação do critério U.2.1. é avaliada, conforme já foi averiguado, através de uma interface gráfica, que tem como objetivo verificar a existência de lugar de estacionamento no modelo. A validação desta regra está sujeita ao conhecimento do número de habitações do edifício a estudar, caso se trate de habitações multifamiliares, o que não é o retratado no presente caso de estudo. A validação desta regra na presente dissertação, após leitura do gráfico da Fig. 58, está sujeita à atribuição de apenas um nível de verificação (nível 4), ou seja, caso a aplicação valide a existência de um espaço físico definido como “lugar de estacionamento exterior” é atribuído o nível 4 de qualidade a este Critério.

A validação das dimensões dos lugares de estacionamento em questão, para a avaliação do Critério T.3.1., era possível caso se tratasse de um compartimento fechado, sendo que as dimensões eram validadas por via da entidade *IfcLengthMeasure*, através da medição, por exemplo, do comprimento de paredes. Outra situação que seria possível era associar objetos a cada canto do espaço reservado para o estacionamento, de maneira a que a distância entre eles definisse as dimensões do estacionamento. Ambos os casos são visíveis na Fig. 59.

Nota	Situação
4	A habitação possui estacionamento privativo no edifício, com as seguintes características mínimas: <ul style="list-style-type: none"> • dois lugares independentes, com 5.00 m de comprimento e 2.80 ou 2.30 m de largura livre, respectivamente no caso de espaços fechados ou em zona colectiva; • lugar único, com 5.00 m de comprimento e 5.10 ou 4.60 m de largura livre, respectivamente no caso de espaços fechados ou em zona colectiva.
3	A habitação possui estacionamento privativo no edifício, com as seguintes características mínimas: <ul style="list-style-type: none"> • lugar único, com 10.00 m de comprimento e 2.80 ou 2.30 m de largura livre, respectivamente no caso de espaço fechado ou em zona colectiva.
2	A habitação possui estacionamento privativo no edifício, com as seguintes características mínimas: <ul style="list-style-type: none"> • dois lugares independentes, com 4.00 m de comprimento e 2.50 ou 2.00 m de largura livre, respectivamente no caso de espaços fechados ou em zona colectiva; • lugar único, com 5.00 m de comprimento e 2.80 ou 2.30 m de largura livre, respectivamente no caso de espaço fechado ou em zona colectiva.
1	A habitação possui estacionamento privativo no edifício, com as seguintes características mínimas: <ul style="list-style-type: none"> • lugar único, com 4.00 m de comprimento e 2.00 m de largura livre.
0	A habitação não possui espaço de estacionamento privativo no edifício.

Fig. 57 - Avaliação do Critério T.3.1. [29]

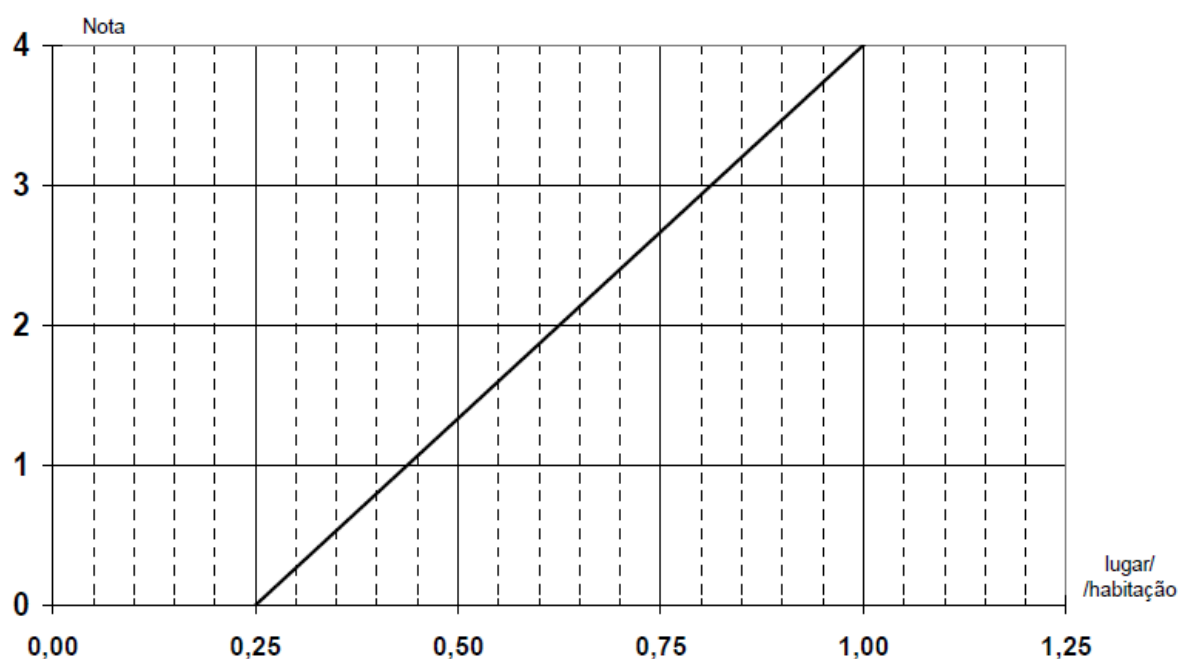


Fig. 58 - Avaliação do Critério U.2.1. [29]

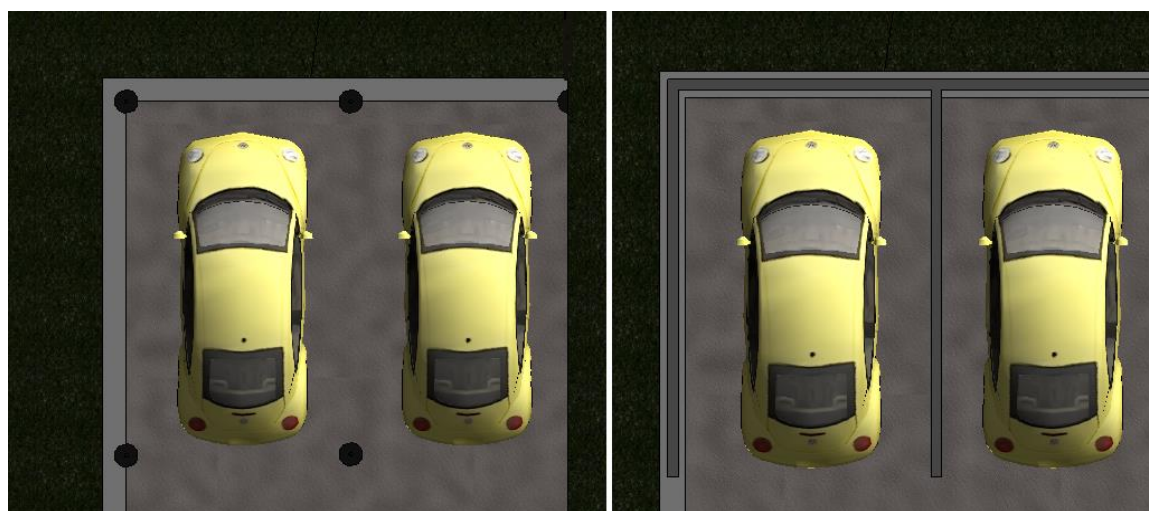


Fig. 59 - Métodos utilizados para validação dimensional de lugares de estacionamento (à esquerda através da distância entre objetos; à direita através do comprimento de paredes)

Já se viu que a validação deste Critério requer a delimitação física do estacionamento através de objetos. Tal facto representa um obstáculo à verificação deste critério de forma automática, pois torna-se difícil de converter o mesmo numa regra de aplicação genérica a mais modelos de informação. Consequentemente opta-se por validar esta regra de forma manual, por observação direta através da consulta dos elementos do projeto.

No que diz respeito à verificação do Critério T.3.1., todos os níveis de verificação apresentam a mesma lógica, a validação dimensional do espaço físico definido como “estacionamento”.

A correspondência com o modelo IFC revela-se por essa razão bastante simples, através das entidades *IfcSpace* e a *IfcLengthMeasure*. A *IfcSpace* é acedida indiretamente para definir o espaço físico como lugar de estacionamento. Mais concretamente a *Property Set* acedida para definir o espaço físico é a *Pset_SpaceParking*. A *IfcLengthMeasure* é acedida para validar o comprimento dos objetos usados para delimitar fisicamente os estacionamentos.

Quanto ao Critério U.2.1., a verificação do mesmo torna-se bastante mais simples que a anterior, uma vez que apenas pretende validar a existência do espaço físico definido no modelo com “lugar de estacionamento”.

5.3.3.4. Critério T.3.2. – Aparcamento para bicicletas

Este Critério tem como objetivo prever um local para estacionamento de bicicletas nas proximidades do acesso principal do edifício. A avaliação do mesmo está sujeita à leitura de uma interface gráfica que atribui um determinado nível de qualidade consoante o número de lugares por habitação. Mais uma vez a verificação deste Critério está sujeita à determinação do número de habitações do edifício a priori, isto quando se trata de avaliar projetos de habitações multifamiliares. Esta situação não se impõe no caso de estudo aqui presente, visto ser um caso de uma única habitação. Na Fig. 60 apresenta-se o gráfico que serve de base à avaliação deste Critério.

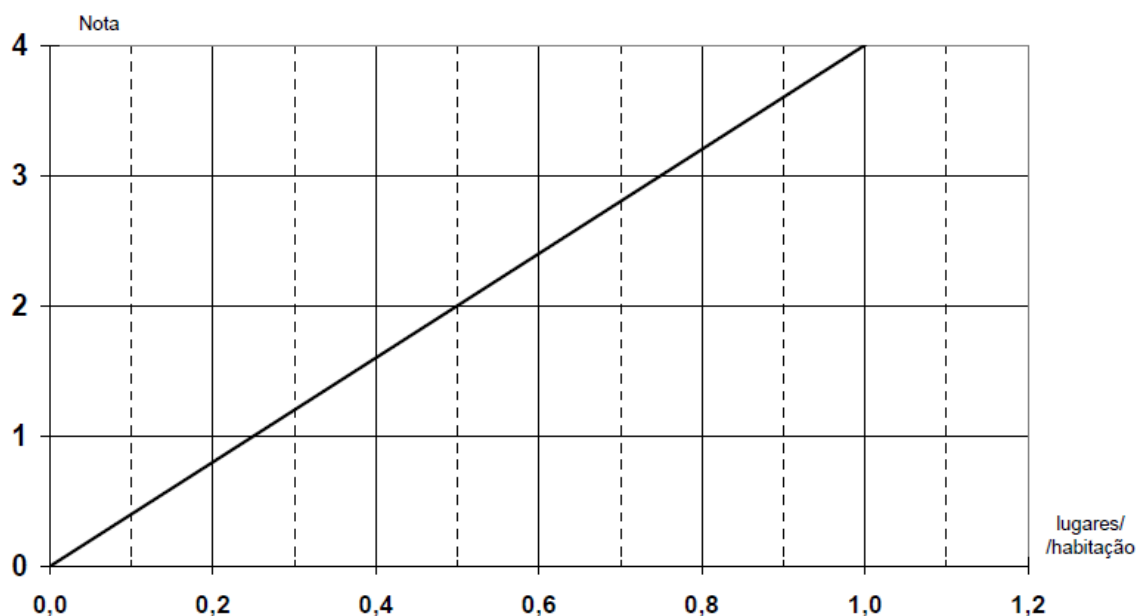


Fig. 60 - Avaliação do Critério T.3.2. [29]

A verificação deste critério, tal como muitos outros já revistos anteriormente, consiste na validação da existência de um objeto no modelo, sendo exigido que o mesmo esteja corretamente definido como um “aparcamento para bicicletas”. Optou-se por este tipo de conversão do mesmo modo que seria válido optar por verificar um espaço físico.

5.3.3.5. Critério U.1.1. – Zona de Jogos para Crianças

A verificação desta regra tem como objetivo validar a existência de um espaço exterior, protegido, destinado a jogos de crianças (pequenas e mais crescidas), com tratamento adequado de piso e equipamento, e localizado em local com fácil visualização a partir das habitações. A verificação deste Critério corresponde apenas a dois níveis de verificação distintos (2 e 4), conforme se pode averiguar através da Fig. 61.

Nota	Situação
4	O edifício dispõe de uma zona exterior para jogos de crianças, com pelo menos 50 m ² , com espaço diferenciado para crianças pequenas (caixa de areia), bancos para vigilantes e aparelhos.
2	O edifício dispõe de uma zona exterior para jogos de crianças, com pelo menos 30 m ² , sem espaço diferenciado para crianças pequenas.
0	O edifício não possui espaço exterior para jogos de crianças.

Fig. 61 - Avaliação do Critério U.1.1. [29]

A verificação de ambos os níveis de qualidade resumem-se a limitar a área de um espaço definido como “zona de jogos para crianças”.

A correspondência deste tipo de Critérios com o modelo IFC já é bastante conhecida, acendendo a entidades como a *IfcSpace* e a *IfcAreaMeasure*. A *IfcSpace* apresenta correspondência indireta com o modelo e serve para definir o espaço físico. A *IfcAreaMeasure* é a entidade acedida para medir a área do compartimento.

5.3.3.6. Critério U.1.2. – Jardim

Este Critério tem como objetivo avaliar se a zona envolvente contém um jardim que permita plantações de pequena dimensão. A avaliação do mesmo realiza-se por meio de uma interface gráfica (Fig. 62), que atribui um nível de qualidade consoante a área de jardim por pessoas residentes. Para validação desta regra é requerida, mais uma vez, informação sobre o número de habitantes. Tal facto, conforme já revisto, quando se pretende proceder à verificação automática de habitações multifamiliar, representa um obstáculo ao processo, tendo em conta que não é possível converter esta regra num sistema genérico de validação automática. No entanto, no que diz respeito ao caso de estudo, tratando-se de uma habitação unifamiliar, através da tipologia, a obtenção do número de pessoas passa a ser direto. Sabendo o número de pessoas, passa-se a obter a área necessária de jardim para obtenção dos níveis de qualidade (Fig. 63).

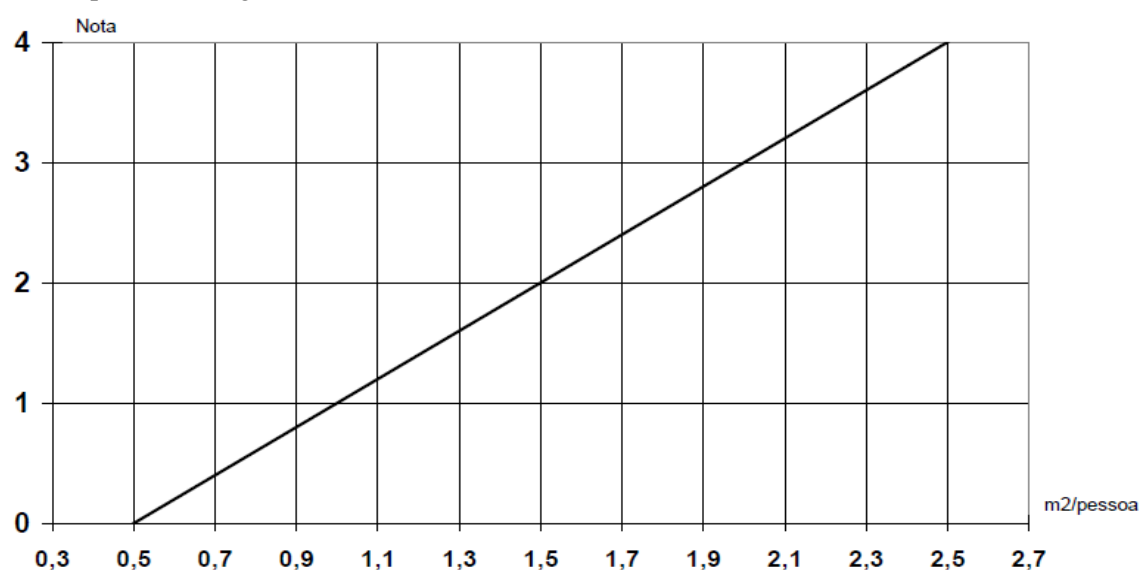


Fig. 62 - Avaliação do Critério U.1.2. [29]

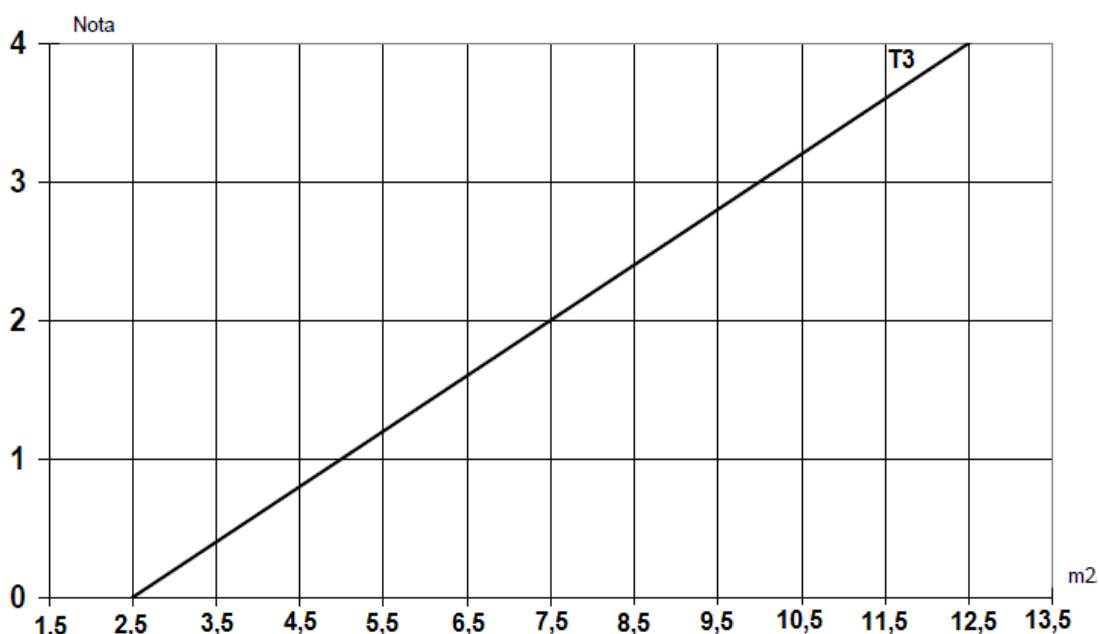


Fig. 63 - Avaliação do Critério U.1.2. em m2 (para a tipologia T3)

A verificação deste Critério é conceptualmente simples e igual a muitos outros já revistos, bastando limitar a área do compartimento definido como “jardim”.

A correspondência da mesma com o modelo IFC é através das funções `IfcAreaMeasure` e `IfcSpace`, já explicitadas em casos semelhantes.

5.4. PREPARAÇÃO DO MODELO DE VERIFICAÇÃO

Já se viu que um modelo alvo de uma verificação automática tem obrigatoriamente de ser consistente com as regras a verificar, contendo, tratando-se de um modelo IFC, todas as entidades IFC, propriedades, objetos e respetivas relações paramétricas. Os requisitos para verificação automática dos critérios presentes no Método MC-FEUP já foram referidos no capítulo anterior.

Antes de rever quais os requisitos necessários à verificação automática do modelo importa descrever o atual conteúdo do mesmo, de maneira a ser mais perceptível a informação que ainda falta a introduzir, para posteriormente correr a respetiva rotina de verificação. Já foi mencionado que o modelo objeto do caso de estudo diz respeito a um modelo público presente no software Autodesk Revit 2016. O modelo representa o projeto de uma habitação unifamiliar de tipologia T3 com dois pisos. Neste contexto, importa referir que nenhum dos compartimentos se encontra classificado.

Com efeito, a primeira tarefa que se impõe no âmbito da preparação do modelo diz respeito à classificação dos compartimentos. Apesar de quase todos os compartimentos apresentarem uma referência de identificação, nenhum deles se encontra devidamente classificado. Neste sentido, é importante identificar quais os compartimentos que necessitam de classificação, de maneira a poderem ser acedidos pelo modelo IFC, e consequentemente pelo respetivo software de verificação automática. Além dos compartimentos a classificar é também necessário parametrizar os objetos/elementos necessários à verificação automática do modelo. Tanto os compartimentos como os objetos são classificados de acordo com o sistema de classificação `OmniClass`, incorporado no software de modelação (Fig. 64).

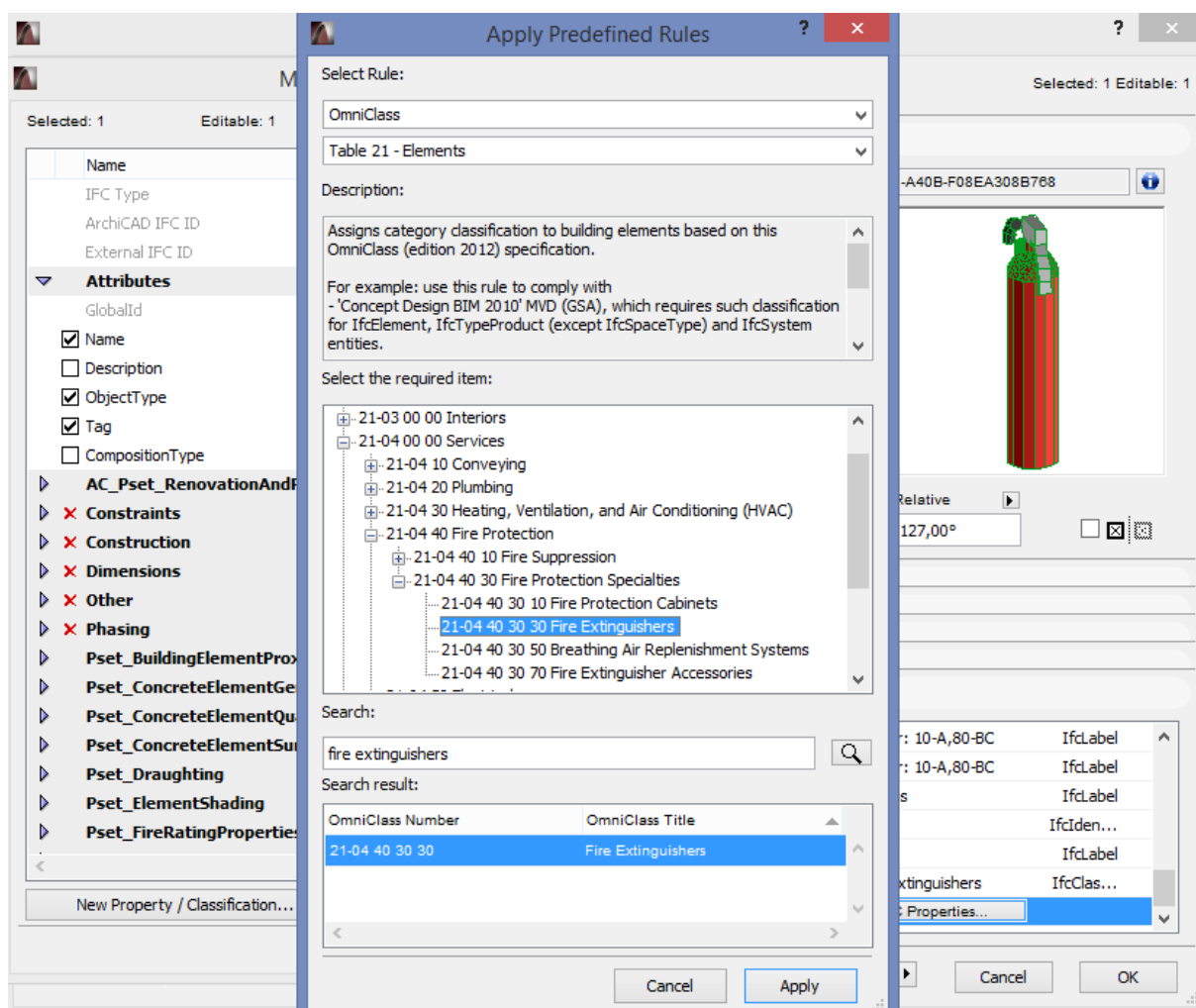


Fig. 64 - Classificação do extintor segundo o sistema de classificação Omniclass

Para o efeito encontram-se listados no Anexo 3 os objetos e as zonas requeridas por cada critério individualmente, com indicação da referência Omniclass utilizada para a respetiva classificação, assim como especificações referentes a cada zona/objeto, caso seja aplicável.

A preparação do modelo de acordo com os critérios a verificar exige pontualmente a inclusão de instâncias de objetos de elevado nível de detalhe. Tal facto, à primeira vista, apresenta um obstáculo à verificação automática do método em estudo, dado que não se justifica para a verificação. No entanto, com a vulgarização dos BIM várias empresas das mais diversas áreas, dentro do sector construtivo, têm apostado na criação das suas próprias famílias de objetos, como forma de incentivo à comercialização dos seus produtos. Este facto já foi referido em 4.3.4., porém nesta fase é importante identificar tais instâncias assim como as fontes fidedignas usadas para a sua aquisição. Dessa lista de objetos fazem parte:

- Extintor de pó químico sem especificação - requerido para a verificação do nível de qualidade 2 do Critério D.1.1;
- Extintor de pó químico do tipo ABC – requerido para a verificação do nível de qualidade 4 do Critério D.1.1;
- Marcos de incêndio – requeridos para a verificação do nível de qualidade 4 do Critério D.3.1;

Os objetos listados anteriormente foram obtidos através da *NBS National Bim Library*, que se trata de um repositório de uma lista extensiva de objetos pré-concebidos para aplicação num modelo de informação nas mais diversas fases de um projeto. A *NBS National Bim Library* apresenta correspondência direta com produtos das mais diversas empresas do setor construtivo, tornando-se, deste modo, numa fonte fidedigna para obtenção de produtos da construção. A entidade responsável pela criação e contínua atualização deste repositório é a *National Building Specification* (NBS). A NBS é uma entidade governamental do Reino Unido responsável pela especificação de materiais, de normas e de mão de obra no setor construtivo. A especificação das mais diversas entidades de um projeto de construção é uma tarefa base na documentação de um projeto de construção, de extrema importância na elaboração dos cadernos de encargos a entregar ao empreiteiro geral da obra. A NBS é atualmente entidade integrante da *Royal Institute of British Architects* (RIBA).

5.5. VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DO MÉTODO MC-FEUP

Com o modelo de verificação já preparado, a tarefa seguinte passa por correr as rotinas de verificação criadas no software usado para o efeito, o Solibri Model Checker. Antes de iniciar este processo, é necessário realizar uma pré-verificação sintática ao modelo de verificação, com o propósito de tanto garantir a integridade semântica do mesmo, como as propriedades, objetos e classificações necessárias à realização da verificação automática.

A pré-verificação realizada revelou alguns erros de semântica¹ do modelo, muito provavelmente originados pela utilização de um modelo BIM inicialmente em formato RVT, um formato específico do software Autodesk Revit 2016. Adaptação de modelo de informação originalmente neste formato para IFC é causa de erros de interoperabilidade. No entanto, visto a troca de informação entre estes dois formatos ser cada vez mais recorrente, a mesma tem vindo a ser gradualmente melhorada, apresentando cada vez menos erros de interoperabilidade.

Do mesmo modo, a realização de uma pré-verificação sintática ao modelo de verificação permite encontrar, por exemplo, classificações de espaços mal definidas ou eliminados na exportação do modelo para IFC, ou então parâmetros de regras mal definidos. Na Fig. 65 é visível um exemplo de um espaço mal classificado, que não permitiu a validação da área de um compartimento.

Posteriormente, e antes da execução da verificação que irá determinar o nível de qualidade obtido através do Método MC-FEUP, é necessário ajustar o modelo consoante a informação obtida da pré-verificação realizada. Este conjunto de processos garante não só que o modelo de verificação apresente todos os objetos, propriedades, relações e classificações adequadas à execução da verificação automática, como a integridade dos parâmetros usados para a criação das regras integrantes na rotina de verificação a executar. Consequentemente, obtém-se uma rotina de verificação que incluem um conjunto de *rulesets* de aplicação genérica a modelos de habitações unifamiliares de tipologia T3.

¹ É aqui definido como um erro que não tem a ver com a validade da estrutura de dados a utilizar (no presente caso, estaríamos a lidar com ficheiros IFC bem formados, ou seja, gramaticalmente corretos) mas antes com o significado dessa estrutura. Pode, por exemplo, faltar parâmetros necessários à realização de uma qualquer operação com o modelo BIM, ou essa informação ser armazenada no local errado, inviabilizando assim o acesso aos dados. Um erro de semântica não é, em geral, detetável antes de se tentar realizar uma operação com os respetivos dados.

Após este conjunto de tarefas importa agora analisar os resultados provenientes da verificação realizada e obter um balanço final da mesma.

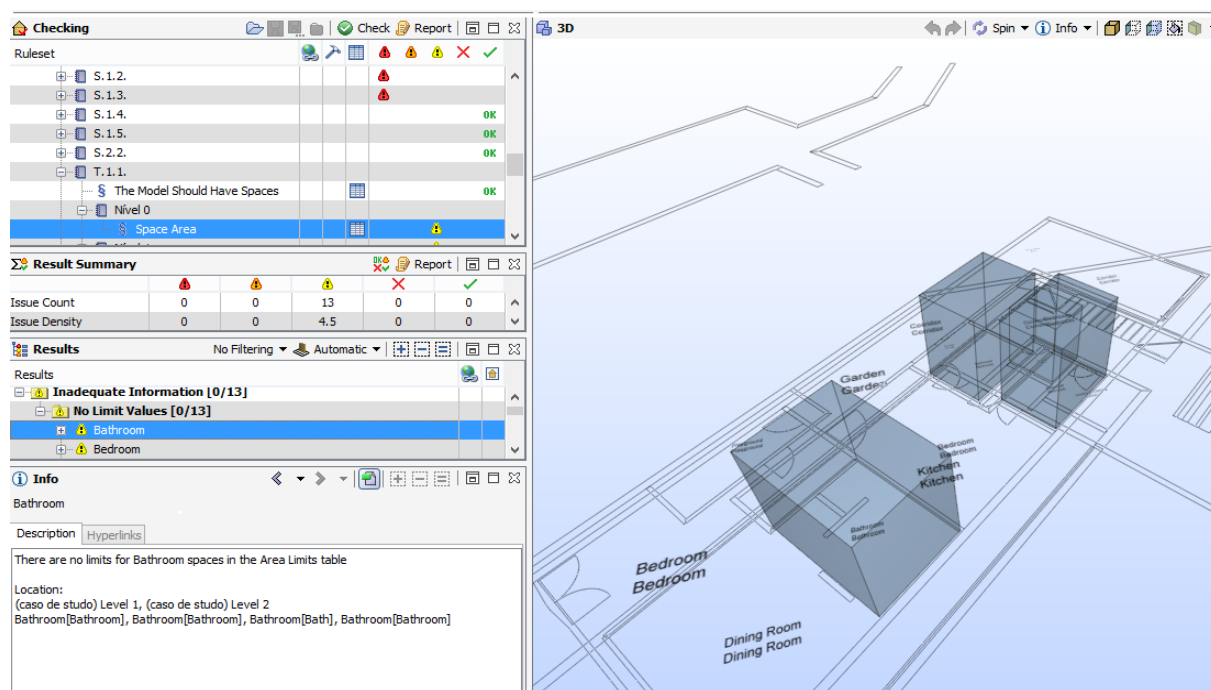


Fig. 65 - Exemplo de regra não validada devido a compartimentos mal classificados no modelo de verificação

5.6. ANÁLISE DE RESULTADOS

A execução de um caso de estudo implica sempre uma análise de resultados. Neste âmbito, foram realizadas duas análises com objetivos finais distintos. Enquanto a primeira tem como finalidade averiguar a contribuição do caso de estudo realizado para as mais variadas fases de um projeto, a segunda apresenta um balanço estatístico da verificação automática realizada.

A primeira análise presente neste capítulo irá contribuir não só para perceber de que maneira os vários resultados obtidos na verificação automática poderão contribuir para o aumento da qualidade de um projeto de uma habitação, como também de que modo se poderá utilizar a mesma como uma ferramenta/guia de apoio à decisão em fase de projeto de uma habitação. Este tipo de análise está diretamente relacionada com a capacidade que cada Critério, presente no Método MC-FEUP, de responder a alguns problemas introduzidos pelas mais variadas fases de um projeto de uma habitação.

Na segunda parte deste capítulo será realizada uma análise estatística dos resultados obtidos, onde serão contrabalançados, quantitativamente, os critérios possíveis e não possíveis de introduzir na rotina verificação automática, os critérios validados e não validados pelo SMC, razões para não validação, entre outros. Esta análise revela-se de extrema importância, na medida em que os dados obtidos desta conclusão irão contribuir para perceber a real utilidade da realização de uma verificação automática deste tipo e a possível contribuição para a disseminação dos BIM. Tal facto irá servir de ponto de partida para realização das respetivas conclusões finais da presente dissertação.

Outra contribuição da análise de resultados tem que ver com a possível deteção de incompatibilidades em modelos de informação. Principalmente em casos que a validação de algumas regras não se revela concebível, é frequente a deteção de incompatibilidades ou erros no modelo objeto de verificação

automática. Este tipo de erros podem ser, por exemplo, sobreposição entre elementos ou até deteção de incompatibilidades entre projetos de especialidades. Tal caso, apesar de evidente utilidade, não será analisado detalhadamente neste capítulo.

5.6.1. ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO PARA AS DIFERENTES FASES DE UM PROJETO DE UMA HABITAÇÃO

Tendo já sido referido alguns aspetos deste método que poderão contribuir positivamente num projeto habitacional, interessa agora realizar uma análise aos resultados provenientes da verificação automática realizada e inferir o tipo de contribuição que os referidos resultados poderão ter nas mais diversas fases de um projeto habitacional. Apesar dos vários Critérios presentes no método em estudo, não apresentarem correspondência total com as várias fases de um projeto definidas na Portaria 701-H/2008, publicada em Diário da República em 29 de julho, tenta-se ao máximo fazer uma analogia da contribuição dos diversos resultados com as diversas fases de um projeto definidas na mesma.

Antes de se partir para a análise de resultados propriamente dita importa primeiro clarificar que a entidade que aplica o Método MC-FEUP é aqui definida como revisor de projeto. O revisor de projeto aqui referido deve ser entendido num sentido lato, na medida que tanto pode ser uma entidade particular que aplique o método em estudo, como o próprio projetista que faça uso da rotina de verificação aqui desenvolvida como apoio às decisões em fase de projeto.

Antes de se analisar detalhadamente a influência de alguns critérios na decisão da equipa projetista, é importante mencionar algumas vantagens que se pode retirar da análise de resultados. A automatização deste processo permite obter uma série de vantagens em relação ao processo tradicional:

- Redução do tempo em relação ao processo de revisão do projeto manualmente – apesar de ser sempre necessário, após execução da verificação automática, testar a integridade da verificação realizada, a análise será sempre bastante mais rápida já que não será, por exemplo, necessário medir distâncias ou áreas, que são processos que manualmente exigem, proporcionalmente, uma grande quantidade de tempo. Além do mais, os critérios que apresentem validação positiva na verificação automática, geralmente, não precisam de uma segunda revisão manual;
- Redução dos custos e otimização do processo – além da clara poupança no que diz respeito a custos de impressões em papel, a automatização deste processo permite dispor de uma ferramenta de apoio à decisão de caráter preventivo, quer isto dizer que utilizar uma ferramenta/guia deste tipo nas fases iniciais de um projeto além de apresentar maiores oportunidades para influenciar o produto final, também apresenta custos de produção mais baixos;
- Evita erros humanos – aplicação deste processo de forma manual apresenta maior probabilidade de conter erros de origem humana do que o mesmo processo mas automatizado. Quer seja erros de medição de áreas ou distâncias, erros de leitura de escalas ou até mesmo erros de perceção, o julgamento humano está sempre inerente a erros. O mesmo não se pode dizer de um sistema informático;
- Maior qualidade e consistência na aplicação – muito em parte devido à quantidade de erros ser menor, mas também devido ao facto do processo automatizado sofrer de dupla apreciação, ou seja, primeiro o método é verificado pelo sistema informático e depois é revisto pela entidade que procede à sua verificação;
- Obter relatórios consolidados em tempo real úteis para especificações de alterações no projeto – estes relatórios foram já explicitados anteriormente, sendo que apresentam enorme utilidade

nas especificações de alterações ao projeto, consoante o resultado da verificação realizada. Este relatório deve incluir um output gráfico explicativo do problema, comentário descritivo das alterações ao projeto e respetiva atribuição de responsabilidades pela alteração. Mais à frente é possível rever um exemplo deste tipo de relatórios.

Em fase de projeto a análise dos resultados provenientes da verificação automática apresentam como finalidade a comunicação entre a equipa projetista e a entidade revisora do projeto (no caso desta ser uma entidade particular), através da criação de outputs gráficos que contêm possíveis alterações ao projeto consoante o nível de qualidade pretendido para o projeto de habitação. Por exemplo analise-se o caso presente no caso de estudo, referente ao Critério R.1.5., que tem como objetivo validar a área dos arrumos da habitação, e imagine-se que se pretende obter o nível de qualidade 4. Conforme se pode averiguar pela Fig. 66, este compartimento não apresenta área suficiente para obter o nível 4 de qualidade, e partindo do princípio que esse é o objetivo que se pretende, é necessário comunicar com a equipa projetista tal informação, assim como as responsabilidades pela sua alteração.

Teoricamente, antes de se poder exigir que um projeto apresente certos níveis de qualidade é necessário que o mesmo cumpra a legislação em vigor. Neste sentido, a maioria dos Critérios estão concebido de maneira a cumprir a legislação nacional, isto é, nesses critérios o nível de qualidade 0 diz respeito ao mínimo regulamentar. Quer isto dizer que se certos critérios não validarem o nível 0 de qualidade não estão de acordo com a legislação em vigor. Veja-se o exemplo referente à validação do critério R.1.4., que pretende validar área das instalações sanitárias. Este compartimento, como se pode averiguar através da Fig. 67, não apresenta área suficiente para validar o nível 0 de qualidade, e consequentemente o mínimo regulamentar. Tal facto é necessário comunicar com a equipa projetista, através da criação de um relatório que inclui (Fig. 67): (1) aspetos a alterar no compartimento, neste caso a área do compartimento; (2) interface gráfica explicativa do problema; (3) e atribuição de responsabilidades pela alteração.

Existe um tipo de casos em que apesar de a regra não ser validada, a mesma dever ser aceite pelo revisor do projeto. Esses casos correspondem a erros de semântica, provavelmente com origem numa incorreta troca de dados entre aplicações. Atente-se no exemplo da validação do Critério R.1.3., que pretende validar a área da cozinha. Neste caso a área da cozinha apresenta área equivalente ao nível de qualidade máxima, no entanto a mesma não é validada na rotina de verificação criada. Tal facto não se deve à área do compartimento, mas erros de semânticas presentes no modelo de informação (Fig. 68).

De forma a se percebe a verdadeira utilidade do que aqui foi elucidado, pressuponha-se que, usando igualmente o exemplo do Critério anterior, a área de instalações sanitárias era inferior à área mínima regulamentar e que não se teria submetido o nosso modelo à verificação automática do Método MC-FEUP, e consequentemente o projeto de arquitetura teria passado da fase de anteprojeto para o projeto de execução, sendo que as peças escritas e desenhadas já tinham sido submetidas a processo de licenciamento. Tendo em conta que a área das instalações era menor que a regulamentar, era muito provável que o projeto não fosse aprovado. Imagine-se então a situação oposta, em que o modelo de projeto teria sido submetido à verificação automática na fase de anteprojeto e que as alterações ao compartimento teriam sido feitas antes de se passar para o projeto de execução. Neste ultimo caso, tanto o tempo como os custos inerentes seriam bastante menores.

No que diz respeito às regras que foram inteiramente validadas no decorrer da verificação automática do modelo, apresentam larga vantagem no que concerne ao tempo despendido na revisão das mesmas, já que não necessitam de sofrer nova revisão, poupando assim tempo na medição de novas distâncias/áreas ou a reexaminar detalhes do projeto.

Com efeito, de acordo com os objetivos pretendidos para a fase de projeto, é elaborado um relatório final de análise de resultados com todas as alterações a efetuar ao projeto. Este relatório final apresenta o mesmo conteúdo dos relatórios realizados para cada critério não validado, e já referidos anteriormente, apresentando apenas uma compilação de todos os relatórios realizados para cada Critério objeto de alteração. Este relatório final deve ser exportável para um formato corrente e elegível pela equipa projetista. A Fig. 69 apresenta um exemplo de um relatório final, meramente representativo, exportado para XLS, extensão de um ficheiro Excel.

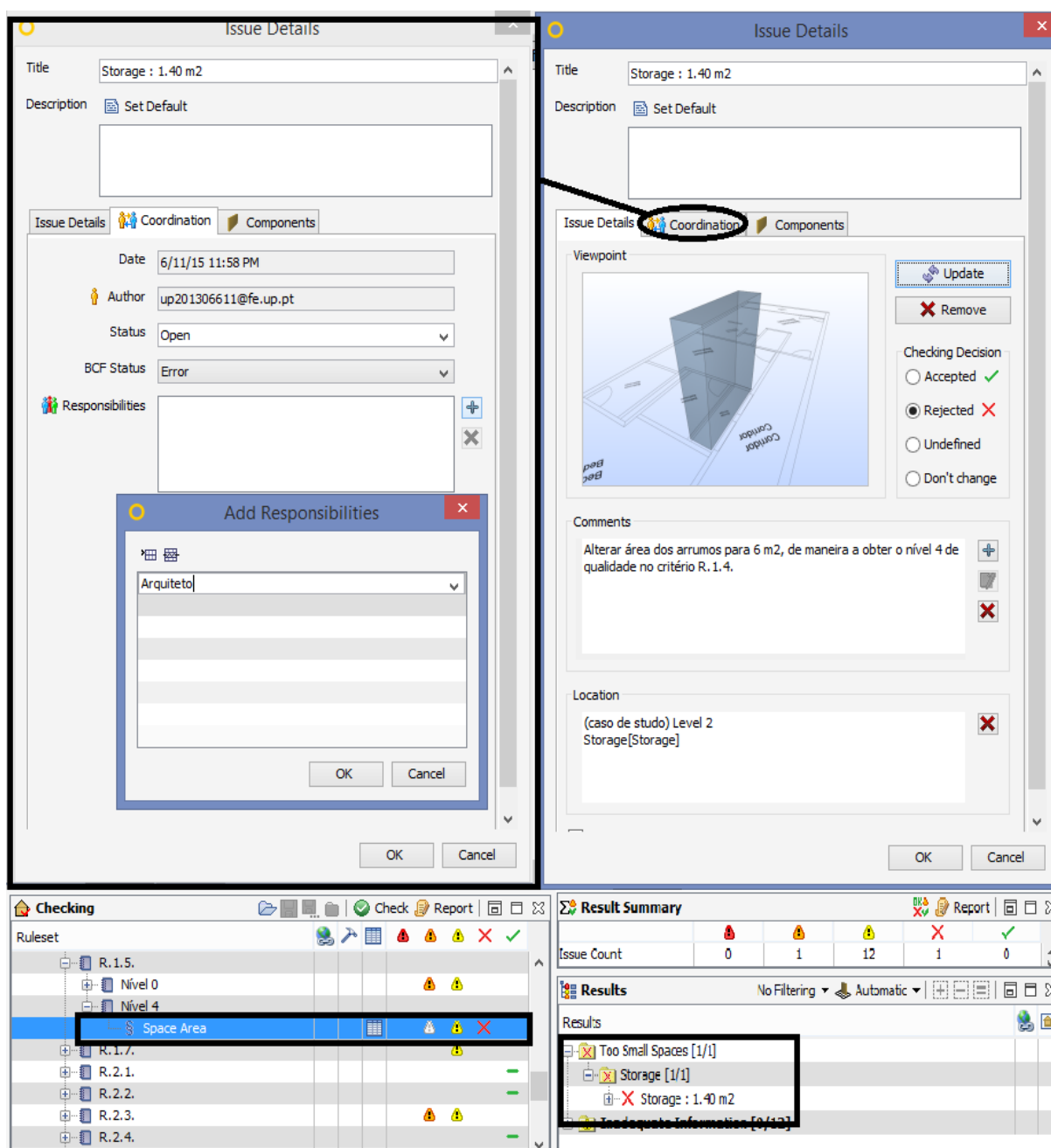


Fig. 66 – Nível 4 de qualidade, do Critério R.1.5., não é validado devido a área excessivamente pequena

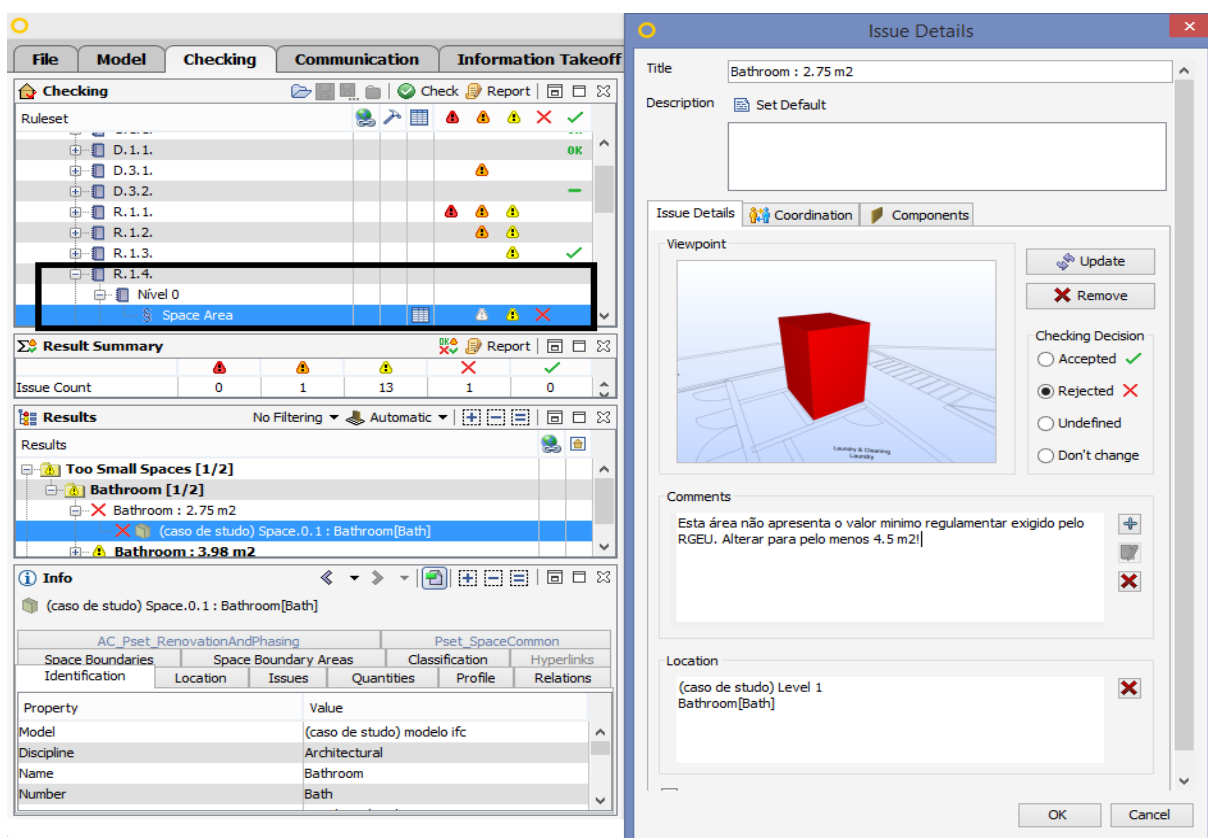


Fig. 67 - Critério R.1.4. não verifica o mínimo regulamentar (nível 0 de qualidade)

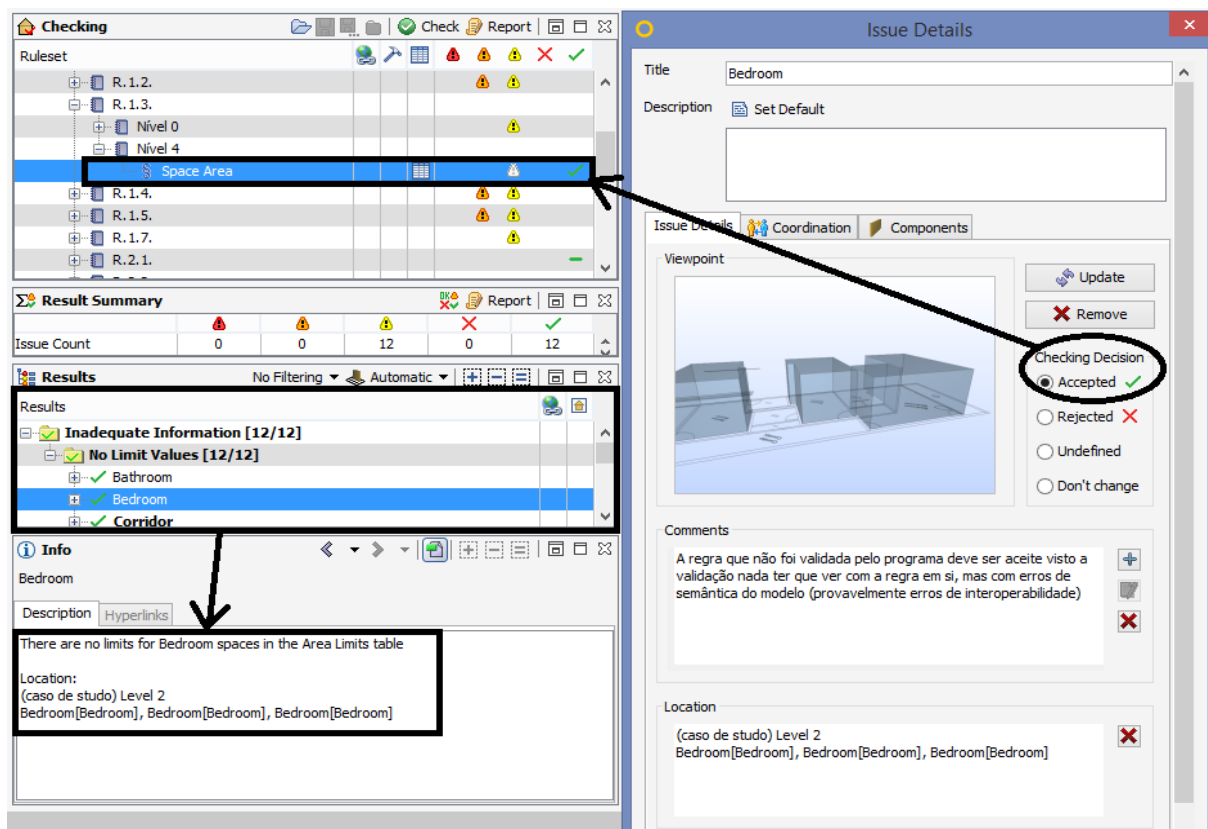


Fig. 68 - Critério R.1.3. não é validado devido a erros de semântica

Colar

Área de Tr...

Calibri

11

A

A

Fig. 69 - Exemplo de um relatório final em formato XLS

5.6.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Antes de se partir para a análise estatística propriamente dita, é primeiramente oportuno enumerar alguns dos dados que irão servir de base à análise estatística que se segue. Com efeito, a análise estatística torna-se importante para quantificar os resultados do caso de estudo realizado, a fim de inferir se representa uma solução viável no âmbito da Verificação Automática de Projetos. Alguns dos dados que irão ser contrabalançados enumeram-se de seguida:

- Objetivos Superiores a ser verificados e não verificados;
- Critérios capazes e incapazes de ser convertidos em linguagem informática, apresentando correspondência com o modelo IFC;
- Razões para incapacidade de serem convertidos em linguagem informática;
- Critérios possíveis e não possíveis de introduzir na aplicação de verificação automática;
- Critérios capazes de ser verificados completamente e incompletamente, isto é, se são capazes de verificar todos os níveis de qualidade que lhes são exigidos ou não;
- Critérios validados e não validados pela aplicação de verificação automática;
- Razões para não validação dos critérios pela aplicação de verificação automática.

Conforme já foi referido no decorrer desta dissertação, após análise detalhada do Método MC-FEUP, foram decididos os Objetivos Superiores a ser convertidos em linguagem interpretável por um sistema

informático, que são resumidos pela Fig. 70. De um total de sete Objetivos Superiores, foram incluídos quatro no caso de estudo analisado, que corresponde a 43% da totalidade do documento. Os restantes Objetivos Superiores não abordados dizem respeito a temas de elevada complexidade neste âmbito, dado que o tempo disposto para elaboração desta dissertação não se revelou compatível com o estudo desses Objetivos, não querendo significar que não possam ser objeto de uma verificação automática.

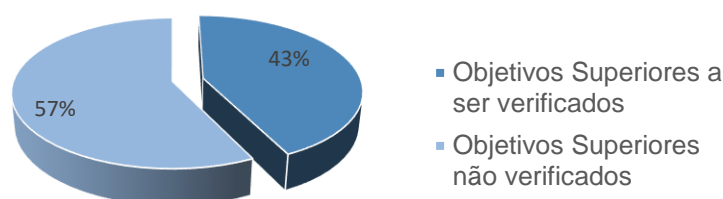


Fig. 70 - Análise estatística aos Objetivos Superiores analisados

Da totalidade de Objetivos Superiores objeto de estudo (43%), foram contabilizados um total de 33 Critérios. Da totalidade desses Critérios foram identificados aqueles que são possíveis de introduzir numa rotina de verificação automática, ou seja, capazes de ser convertidos em linguagem informática, perfazendo um total de 29 Critérios (Fig. 71). Para os restantes 4 Critérios, foram analisadas as razões da incapacidade de serem verificados automaticamente num modelo IFC, pelo que se distribuem quantitativamente na Fig. 72. As razões identificadas foram: (1) Requerer a definição parâmetros de elevado nível de detalhe; (2) Requerer a avaliação de parâmetros fora do âmbito do modelo IFC; (3) Requerer a avaliação de parâmetros não mensuráveis e ambíguos.

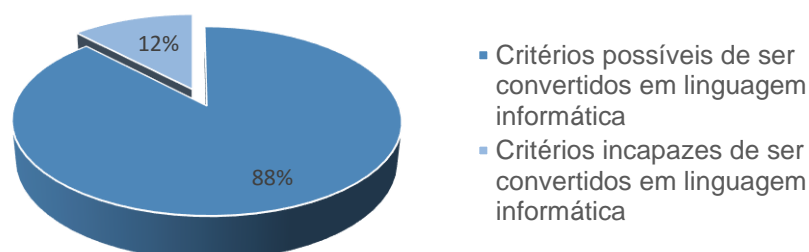


Fig. 71 - Análise estatística aos Critérios possíveis de converter em linguagem informática

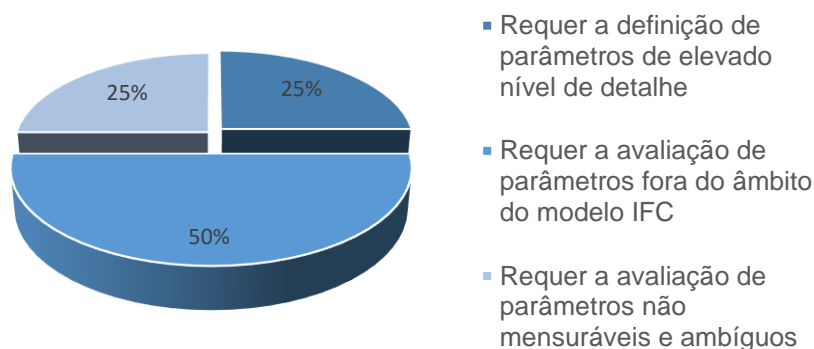


Fig. 72 - Análise estatística às razões pela não validação de Critérios

Apesar da existência de 29 Critérios capazes de ser convertidos em linguagem interpretável por um sistema informático, nem todos foram introduzidos na aplicação de verificação automática para posterior validação. Já foi mencionado anteriormente a incapacidade de criação de novas regras através do SMC, estando tal tarefa reservada à utilização de uma Interface de Programação de Aplicações (IPA) da Solibri. Por conseguinte, para verificação de tais critérios é sempre necessário adaptar um conjunto de *rulesets* incluídas no programa aos critérios que se pretende avaliar, quer isto dizer que, dos 29 Critérios, foram apenas introduzidos 25 Critérios (Fig. 73).

No entanto, e tal como já foi estudado previamente, a validação de cada Critério é efetuada por níveis, consoante os níveis de qualidade do respetivo Critério. Ou seja, um Critério que apresente quatro níveis de qualidade, para obter por exemplo o nível de qualidade máximo, o nível 4, terá de verificar os níveis anteriores. Dado isto, a situação ideal era todos os níveis pertencentes aos 25 Critérios introduzidos, serem adaptáveis às *rulesets* do SMC. Todavia, tal não acontece, nem todos os Critérios são completamente verificáveis pelo SMC, podendo se dizer que apenas 22 Critérios são validados em todos os níveis de qualidade.

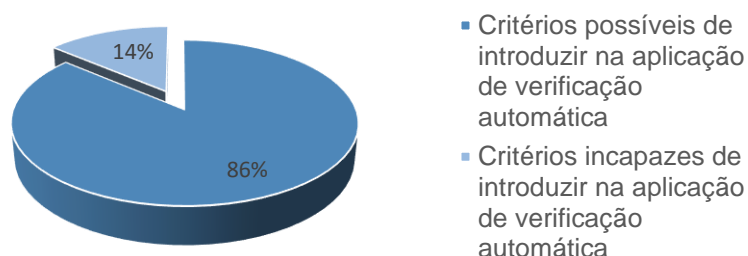


Fig. 73 - Análise estatística aos Critérios possíveis de introduzir no SMC

Após a introdução da totalidade dos 25 Critérios no SMC, procedeu-se à sua validação automática. De seguida foram contabilizados todos os critérios que apresentaram sucesso na sua verificação, bem como os que apresentaram erros que impediram a sua verificação por parte da aplicação. Dos 25 Critérios verificados, apenas 5 apresentaram erros que impediram a sua validação automática (Fig. 74).

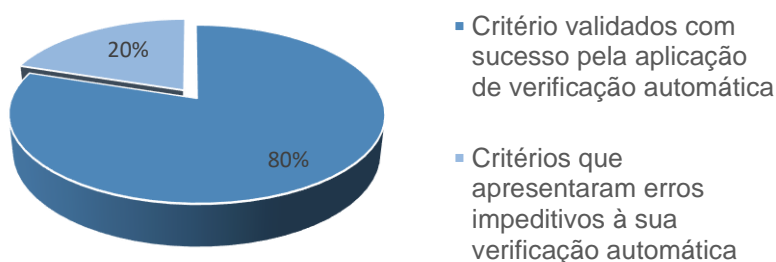


Fig. 74 - Análise estatística aos Critérios validados pelo SMC

De forma a se realizar uma análise mais completa e conclusiva tentaram-se encontrar as possíveis razões para o aparecimento de tais erros impeditivos à verificação automática de alguns critérios. Da lista de razões analisadas, as que melhor correspondem aos erros encontrados são: (1) Erros de semântica do modelo; (2) Incoerências nas *rulesets* presentes na aplicação; (2) *Rulesets* com parâmetros incompletos. O balanço estatístico realizado aos erros encontrados é visível na Fig. 75.

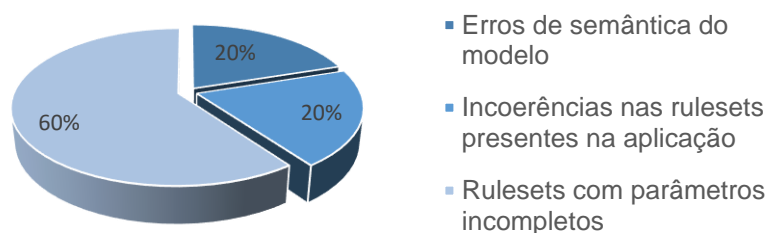


Fig. 75 - Análise estatística às razões pela não validação de Critérios pelo SMC

Antes de concluir o balanço estatístico que aqui foi estudado, importa primeiro referir que, do total dos 25 Critérios verificados pelo caso de estudo, 3 Critérios foram adaptados de maneira a poderem ser validados automaticamente. A adaptação por eles sofrida, diz respeito à eliminação de algumas ambiguidades antes de poderem ser introduzidos numa rotina de verificação automática, tal como referido detalhadamente em 5.3..

Em resumo, após a análise estatística aos resultados obtidos, se pode concluir (Fig. 76) que da totalidade de 33 Critérios estudados, incluídos nos quatro Objetivos Superiores em estudo, foram validados com sucesso 20 Critérios (61%), sendo que desses 20 apenas 4 Critérios foram validados de forma incompleta (9%), e foram incapazes de se validar 13 Critérios (39%). Na Fig. 77 é realizado um balanço estatístico às razões pela não verificação dos 13 Critérios referidos.

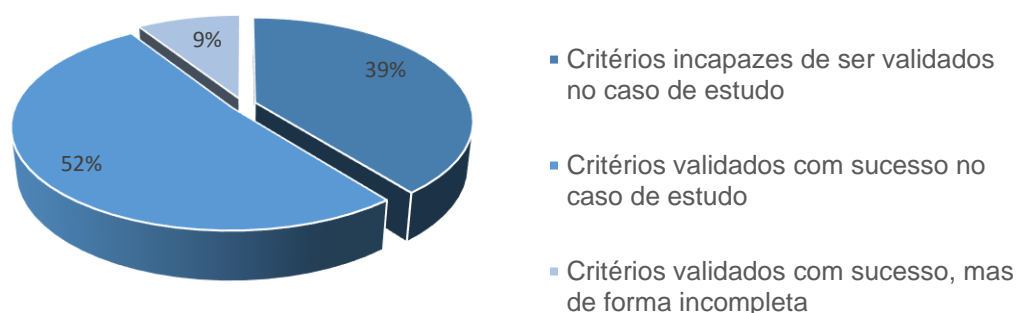


Fig. 76 - Balanço final dos Critérios validados e não validados

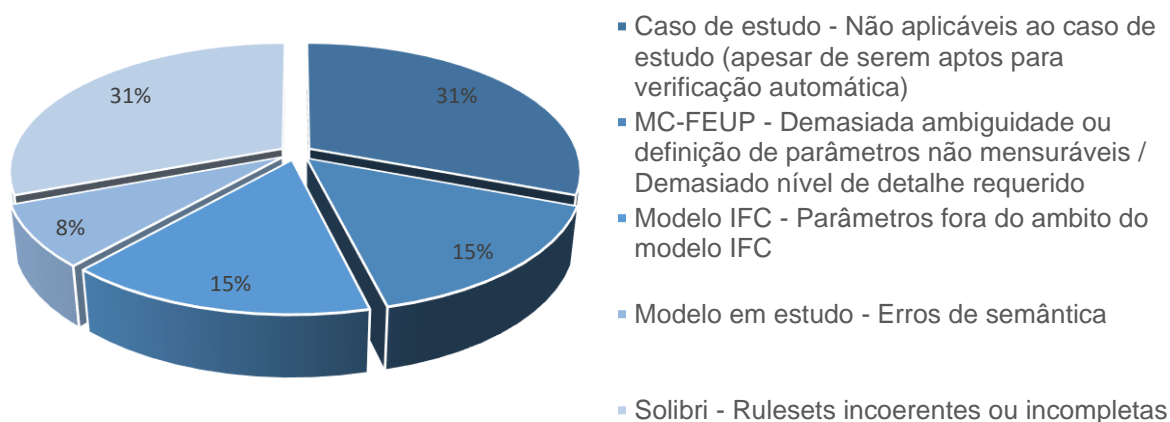


Fig. 77 - Balanço final das razões de não validação de Critérios

6

CONCLUSÕES

6.1. RESULTADOS E CONCLUSÕES DO TRABALHO DESENVOLVIDO

Numa fase inicial de pesquisa ao estado da arte, foi possível identificar o conjunto de processos atualmente aceite pela comunidade científica no suporte à verificação automática de um conjunto de regras, desde a fase de interpretação das mesmas até à análise de resultados da verificação realizada. Conforme já referido, este conjunto de regras deve ser entendido num sentido lato, isto é, como um conjunto de proposições que apresente um valor lógico de verdadeiro ou falso. Verificou-se que na maioria das situações as regras, em estudo, fazem parte de decretos de regulamentares, podendo também integrar regras de qualidade, regras específicas de projetos, entre outros. O estudo realizado permitiu concluir que, atualmente, para a realização completa da verificação automática de um conjunto de regras é necessário:

- Dispor de conhecimentos especializados na área da programação – Para conversão de regras, inicialmente em linguagem humana, em disposições interpretáveis por um sistema informático, é necessário conhecimento especializado na área da programação. Apesar de não estar estabelecida uma linguagem de programação específica para a verificação automática de regras, é recomendável que as disposições transcritas numa determinada linguagem sejam facilmente convertíveis, da mesma maneira que os programas em ambiente Java, C ou SQL são facilmente usados noutras plataformas. Isto permite correr a verificação das regras tanto num servidor de verificação automática, como incorporá-la na ferramenta BIM que serviu de base ao modelo a verificar. Outro benefício de dispor de conhecimentos de programação é o grande potencial que se dispõe de representar um número ilimitado de regras, incluindo um grande número de condições e representando alternativas dentro de um determinado domínio;
- O conjunto de regras a verificar deve estar apto para verificação automática – O que se verifica, atualmente, é que a maior parte das regras a verificar, principalmente quando integrantes de um decreto de lei, apresentam características que dificultam a sua tipificação. Desse conjunto de características, fazem parte: (1) presença de ambiguidades; (2) o uso recorrente a terminologias de difícil leitura por parte de um sistema informático; (3) e a complexidade da sua estruturação e da relação entre as diferentes regras. Com o descrito, conclui-se que a situação ideal era que todas as regras, principalmente as regulamentações, fossem aptas para a verificação automática, apresentando critérios objetivos e mensuráveis, facilitando, deste modo, a sua introdução numa rotina de verificação automática. Neste contexto, seria requerido um esforço de todas as partes na revisão dos decretos regulamentares, para sua posterior adaptação ao processo;

- Unificação de um sistema de classificação normalizado – A utilização de um sistema de classificação revela-se de extrema importância na Verificação Automática de Projetos, pois permite identificar os elementos do modelo necessários à validação das respetivas regras. Neste contexto, a normalização de um sistema de classificação único permitiria atribuir uma classificação única a cada elemento do modelo. Deste modo, não só evitar-se-ia erros de sobreposição e incompatibilidades entre os vários elementos de um modelo, como também permitiria estabelecer uma correspondência entre as regras e os elementos a verificar;
- Existência de um formato único e público para a troca de dados entre a aplicação que executa a verificação e a aplicação utilizada para a modelação do projeto – Atualmente, o formato IFC apresenta-se como o único formato universal e público capaz de responder à exigência de troca de dados necessária à Verificação Automática de Projetos. Usando sempre o modelo IFC como intermediário, o estudo das dinâmicas de trocas de dados entre a equipa projetista e a entidade que verifica o projeto revelou duas maneiras de proceder [8]: (1) importar o modelo de verificação para o projeto de conceção no início do projeto, modelando o edifício tendo em conta o respetivo conjunto de regras a verificar; (2) ou exportar o modelo de projeto para um modelo de verificação automática no final do projeto.

A implementação de um caso de estudo foi importante para testar a aplicabilidade do método analisado, permitindo retirar as próprias conclusões sobre o estado da arte da Verificação Automática de Projetos. A aplicação prática do caso de estudo envolveu um sistema conceptual composto por um modelo de projeto representado por uma aplicação BIM, por um modelo de verificação representado pelo SMC e a interação entre ambos efetuada através do modelo IFC. A escolha do SMC como plataforma de validação do modelo de verificação revelou-se como a única opção possível, visto ser o único software disponível no mercado para verificação automática de regras, que não exige conhecimentos avançados de programação. No entanto, apresenta como limitação, o facto de a introdução de novas regras estar sujeita à utilização de uma API não pública, sendo o sucesso da verificação automática dependente da adaptação das regras, a verificar, às *rulesets* do programa.

A avaliação automática de um método de avaliação de qualidade de projetos foi o tema escolhido para o desenvolvimento do caso de estudo desta dissertação, revelando bastantes benefícios na sua aplicação prática nas mais variadas fases de projeto. O método escolhido para aplicação foi o Método MC-FEUP. Após análise detalhada deste método, concluiu-se que apesar do método não se encontrar totalmente adaptado a uma verificação por processos automáticos, apresenta a vantagem de se adequar bem a um fluxo de informação formal, logo, à partida, apto à verificação automática. Além disso, apresenta, na sua generalidade, parâmetros de avaliação mensuráveis através de leitura de gráficos ou tabelas. Por outro lado, a exigência pontual de parâmetros subjetivos ou com demasiado detalhe dificultaram a sua validação por processos automáticos.

A aplicação prática do caso de estudo iniciou-se com a interpretação das regras. Após conversão das regras num sistema lógico interpretável por uma rotina de verificação automática, analisou-se as correspondências entre a base de dados do modelo IFC e as regras convertidas. A análise efetuada revelou algumas limitações na correspondência de alguns dos elementos requeridos pelos Critérios do MC-FEUP. No entanto, também se verificou que o mesmo apresenta os recursos necessários para compensação dos recursos em falta. Um dos princípios segundo os quais o modelo IFC foi desenvolvido tem exatamente esse propósito, ou seja, os elementos de carácter muito específico devem ser detalhados pelo próprio utilizador, suprimindo assim as suas necessidades e garantindo que o modelo não é sobrecarregado [8].

Analisadas as correspondências entre os demais Critérios, procedeu-se à adaptação dos mesmos às *rulesets* do SMC. Através da respetiva adaptação, concluiu-se que:

- As *rulesets* do SMC apresentam um caráter bastante genérico, apresentado a vantagem de apenas uma *ruleset* ser adaptada à validação de várias regras, mas pelo contrário apresenta limitações na validação de um Critério de forma completa;
- O software apresenta um conjunto muito limitado de regras, com principal foco em aspetos relacionados com validação espacial, questões de acessibilidade, segurança contra incêndios e deteção de incompatibilidades, revelando-se difícil na verificação de um documento na íntegra;
- O programa apresenta incoerências na validação de algumas regras, não permitindo ao sistema operar em conformidade. Por exemplo, a regra que verifica a distância entre objetos não consegue validar uma certa distância máxima sem avaliar simultaneamente a mesma distância mínima;
- O programa inclui vários sistemas de classificação normalizados que permitem facilitar a correspondência com os vários elementos requeridos na verificação automática. No caso de estudo foi utilizado o Omniclass;
- Na sua generalidade, o SMC apresenta uma interface acessível ao uso de qualquer utilizador. A introdução de novos parâmetros nas *rulesets* existentes revela-se bastante simples, recorrendo a procedimentos intuitivos.

Após a execução da verificação automática do método descrito, procedeu-se à respetiva análise de resultados. O caso de estudo permitiu inferir dois tipos de análises distintas: (1) análise da contribuição do caso de estudo para as mais variadas fases de um projeto; (2) análise estatística. Através da primeira análise concluiu-se que a automatização deste processo, de forma completa, permite ao projetista, no que diz respeito à qualidade do projeto, dispor de uma ferramenta de apoio à decisão, atuando preventivamente nas fases mais prematuras do mesmo. As vantagens, já anunciadas no desenvolvimento deste trabalho, são semelhantes às da automatização de qualquer processo. A segunda análise efetuada, a análise estatística, permitiu realizar um balanço final de todo o trabalho realizado, inferindo-se sobre a verdadeira utilidade da execução de uma verificação automática deste tipo, assim como para perceber o atual estado da Verificação Automática de Projetos e retirar ilações futuras sobre esta possível realidade.

Invocando a análise estatística efetuada anteriormente, verificou-se que apenas 61% dos Critérios em estudo foram validados com sucesso, sendo que para os restantes 39% que foram incapazes de ser validados apresentam-se as seguintes razões:

- Caso de estudo (31%) – Não aplicáveis ao caso de estudo, apesar de serem aptos para verificação automática;
- MC-FEUP (15%) – Alguns parâmetros apresentam demasiada ambiguidade ou demasiado detalhe, tornando-se inaptos para verificação automática;
- Modelo IFC (15%) – A verificação de alguns critérios apresenta-se fora do âmbito do modelo IFC;
- Modelo em estudo (8%) – O modelo em estudo apresentava alguns erros de semântica que incapacitaram a validação de alguns Critérios;
- Solibri (31%) – Algumas *rulesets* apresentavam-se incoerentes ou incompletas, que corretamente programadas apresentavam-se como válidas.

Em síntese, o trabalho realizado permite estabelecer as seguintes conclusões finais:

- Com as atuais condições, a Verificação Automática de Projetos é uma realidade que não se revela concebível a curto prazo. No entanto, os alicerces já se encontram estabelecidos, bastando melhorar apenas alguns aspetos essenciais. Esses aspetos, fazendo uso dos atuais recursos disponíveis, apresentam-se como uma meta falivelmente alcançável. A prova disso são os resultados obtidos da análise estatística ao caso de estudo. Dos Critérios não validados na verificação automática, 92% dizem respeito a aspetos alcançáveis após uma revisão profunda dos processos. O melhoramento desses aspetos permitiria sistematizar os processos de Verificação Automática de Projetos mais rapidamente.
- Entre os aspetos a melhorar, referidos no ponto anterior, estão:
 - Adaptação dos documentos à verificação automática - A maioria dos documentos, principalmente a legislação nacional, apresentam parâmetros subjetivos que dificultam a sua integração num processo de verificação automática. As regras incluídas nas regulamentações, inicialmente em linguagem humana, devem apresentar parâmetros mensuráveis e objetivos, de maneira a ser possível atribuir um valor lógico de verdadeiro ou falso;
 - Melhoria das aplicações de verificação existentes – A existência de uma aplicação que permita a verificação integral de qualquer documento parece, à primeira vista, ser o cenário ideal. Da mesma maneira que os regulamentos se devem adaptar às verificações, as verificações devem-se adaptar as regras. Neste sentido, propõe-se que as aplicações permitam a adição de novas regras pelo utilizador numa linguagem específica para a validações de proposições lógicas. O facto de a aplicação permitir a adição de regras por qualquer utilizador permitiria um trabalho colaborativo na adição de novas regras. Atualmente, muitos programas de modelação permitem já o desenvolvimento de programas com recurso a linguagens de programação gráfica (Grasshopper, Dynamo, etc.) Este avanço é muito útil para tornar o mundo da programação acessível a um maior número de especialistas da construção.
- Com as condições atuais, a prossecução dos objetivos globais do Método MC-FEUP, ou seja, a obtenção de um valor numérico para o nível de qualidade global de projetos de habitação não se revela possível, visto a rotina de verificação criada se resumir a três dos sete Objetivos Superiores presentes no método em estudo. A obtenção de um nível de qualidade global só teria lógica caso fosse analisado a totalidade do documento. No entanto, a rotina de verificação automática criada serve de apoio à decisão do projetista nos diversos Critérios abordados;
- O SMC não se revela como uma plataforma eficaz na integração de documentos escritos, quer seja regulamentos ou guias de qualidade, em rotinas de verificação automática. O programa não permite a criação de novas regras, revelando-se difícil de adaptar um documento completo às *rulesets* incluídas na aplicação. Apresenta algumas incoerências na aplicação de algumas regras, conforme já se tinha visto, pelo que se revela um aspeto a corrigir no mesmo. A vantagem de validação de regras sem conhecimentos de programação traz a desvantagem de não ser possível adicionar regras específicas;
- O modelo IFC constitui uma opção viável à verificação automática de regras. Além de apresentar um âmbito de aplicação alargado, é aquele que melhor responde aos problemas de interoperabilidade requeridos por um sistema de verificação automática.
- Em Portugal, a verificação automática, principalmente aplicada ao licenciamento de projetos, encontra-se ainda num estado muito prematuro. Um dos passos mais importantes a dar neste sentido passa por uma revisão integral dos regulamentos, com o propósito de adaptá-los aos processos de verificação automática. Ao contrário de alguns países, onde a adoção dos BIM já é uma realidade há bastante tempo, este processo de adaptação prevê-se mais lento.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O trabalho realizado permite inferir sobre as seguintes oportunidades de desenvolvimento futuro:

- Desenvolver uma proposta para adaptação de um regulamento nacional a uma rotina de verificação automática, usando como base os recursos disponibilizados pelo modelo IFC;
- Desenvolver uma proposta para normalização de um sistema de classificação único, a integrar em aplicações BIM, para representação de todos os produtos de construção, com o objetivo de padronizar as correspondências com os vários elementos presentes num modelo de informação;
- Alargar o estudo desenvolvido a outras especialidades abordadas pelo Método MC-FEUP, mas com recurso a outra aplicação para verificação automática de regras. Recomenda-se recorrer uma aplicação que permita a programação de regras específicas para o efeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Solihin, W., Eastman, C. *Classification of rules for automated BIM rule checking development*. Automation in Construction 53, 2015, 69-82.
- [2] Poças Martins, João Pedro da Silva. *Modelação do fluxo de informação no processo de construção aplicação ao licenciamento automático de projectos*. Dissertação de Doutoramento, FEUP, 2009.
- [3] Poças Martins, João Pedro da Silva. *Licenciamento automático de projectos, um incentivo à adopção de metodologias BIM*. International Conference on Engineering, 2011.
- [4] Eastman, C., Lee, J.-m., Jeong, Y.-s., & Lee, J.-k. *Automatic rule-based checking of building designs*. Automation in Construction 18, 2009, 1011-1033.
- [5] Malsane, S., Matthews, J., Lockley, S., Love, P. E. D., Greenwood, D. *Development of an object model for automated compliance checking*. Automation in Construction 49, 2015, 51-58.
- [6] Yang, Q., Xu, X. *Design knowledge modeling and software implementation for building code compliance checking*. Building and Environment 39, 2004, 689-698.
- [7] Nawari, N. O. *Automated Code Checking in BIM Environment*. International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 2012.
- [8] Monteiro, André Giestas Cancela. *Avaliação da aplicabilidade do modelo IFC ao licenciamento automático de projectos de redes de distribuição predial de água*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2010.
- [9] Nawari, N. O. *BIM-Model Checking in Building Design*. Structures Congress, 2012.
- [10] Ding, L., Drogemuller, R., Rosenman, M., Marchant, D., Gero, J. *Automating code checking for building designs-DesignCheck*. 2006. <http://ro.uow.edu.au/engpapers/4842/>. Abril de 2015.
- [11] Han, C. S., Kunz, J. C., Law, K. H. *Client/server framework for on-line building code checking*. Journal of computing in civil engineering 12, 1998, 181-194.
- [12] Choi, J., Choi, J., Kim, I. *Development of BIM-based evacuation regulation checking system for high-rise and complex buildings*. Automation in Construction 46(0), 2014, 38-49.
- [13] Eberg et al, E. *Experiences in development and use of a digital Building Information Model (BIM) according to IFC standards from the building project of Tromsø University College (HITOS) after completed Full Conceptual Design Phase*. Statsbygg—Norwegian Agency of Public Construction and Property, 2006.
- [14] Nawari, N. O. (2013). *SmartCodes and BIM*. Structures Congress, 2013, 928-937
- [15] Martins, João Pedro, Monteiro, André. *LicA: A BIM based automated code-checking application for water distribution systems*. Automation in Construction 29(0), 2013, 12-23.
- [16] Bedrick, J. *Organizing the development of a building information model*. AECbytes Feature, 2008.
- [17] Wood, J., Panuwatwanich, K., & Doh, J.-H. *Using LOD in Structural Cost Estimation during Building Design Stage: Pilot Study*. Procedia Engineering, 85(0), 2014, 543-552.
- [18] Venugopal, M., Eastman, C. M., Sacks, R., Teizer, J. (2012). *Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema*. Advanced Engineering Informatics 26(2), 2012, 411-428.

- [19] Silva, Jorge Miguel Santos. *Princípios para o desenvolvimento de projetos com recurso a ferramentas BIM avaliação de melhores práticas e proposta de regras de modelação para projetos de estruturas*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2013.
- [20] Björk, B.-C. *RATAS project-developing an infrastructure for computer-integrated construction*. Journal of computing in civil engineering 8(4), 1994, 401-419.
- [21] Smith, P. *BIM Implementation – Global Strategies*. Procedia Engineering 85(0), 2014, 482-492.
- [22] Khemlani, L. *Around the world with BIM*. AECbytes Feature, 2012.
- [23] STANDARD, U. (2012). *AEC (UK) BIM Protocol - Implementing UK BIM Standards for the Architectural, Engineering and Construction industry*. 2012
- [24] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. *BIM handbook a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley and Sons Ltd, New Jersey, 2008.
- [25] Khemlani, L. *CORENET e-PlanCheck: Singapore's automated code checking system*. AECbytes" Building the Future" Article 16(10), 2005
- [26] Ferreira, Bruno Filipe Vieira. *Aplicação de conceitos BIM à instrumentação de estruturas*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2011.
- [27] Pinho, Sérgio Miguel Ferreira de. *O modelo IFC como agente de interoperabilidade Aplicação ao domínio das estruturas*. Dissertação de Mestrado. FEUP, 2013.
- [28] Liebich, T., See, R. *IFC Object Model architecture guide*. Industry Foundation Classes – Release, 1999.
- [29] Moreira da Costa, Jorge. *Métodos de avaliação da qualidade de projectos de edifícios de habitação*. Dissertação de Doutoramento, FEUP, 1995.
- [30] Sampaio, Maria Francisca. *A evolução de indicadores de desempenho em construção habitacional aplicação a um parque na zona do Porto*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2010.
- [31] IAI, buildingSMART International Limited. *IFC4 Official Release*. 2013. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/index.htm>. Maio de 2015.

ANEXOS

ANEXO 1 – GUIA DE UTILIZAÇÃO DO SOLIBRI MODEL CHECKER

O SMC inicia-se com apresentação do ecrã principal (Fig. 78) que permite o acesso às diferentes interfaces úteis à verificação automática do modelo.

A interação do SMC com o utilizador está sujeita a 6 interfaces distintas:

- Interface de Ficheiros;
- Interface do Modelo;
- Interface de Verificação;
- Interface de Comunicação;
- Interface da Informação a retirar;
- Gestor de Regras.

INTERFACE DE FICHEIROS

A Interface de Ficheiros, ou *Files Layout* em Inglês, (Fig. 78) permite gerir os ficheiros que pretendemos introduzir no SMC para posterior validação do modelo. Esta interface é composta por 3 separadores distintos: (1) *Recent*; (2) *Role*; (3) *Settings*;

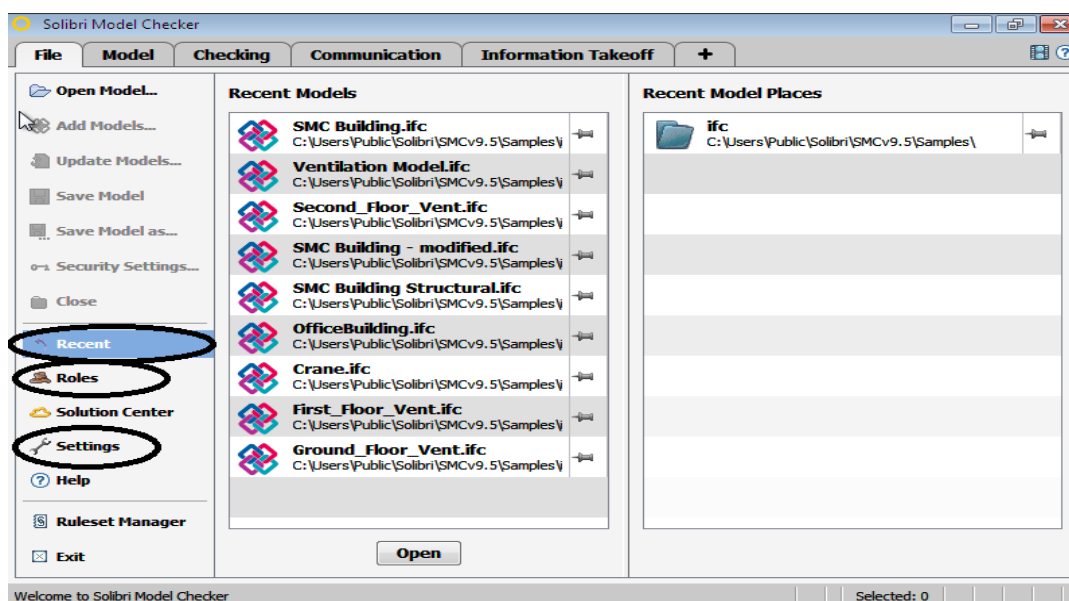


Fig. 78 - Interface de Ficheiros

O separador *Recent* (Fig. 78) permite visualizar, do lado esquerdo, os ficheiros IFC abertos recentemente e, do lado direito, a sua pasta de origem. Existe a possibilidade de bloquear os ficheiros, caso seja um ficheiro de uso rotineiro, clicando no “pin” cinzento do lado direito do ficheiro escolhido, garantido que o mesmo permanece no separador *Recent* na próxima vez que se abrir o SMC.

O separador *Roles* (Fig. 79), o mais importante separador desta interface no âmbito do trabalho desenvolvido, permite ao utilizador adicionar o conjunto de regras a serem verificadas no modelo (em *Rulesets*), seleccionar a informação relevante a retirar dessa verificação (em *Information Take off Definition*) e adicionar as classificações dos subsistemas do modelo que são relevantes para a verificação automática (em *Classifications*).

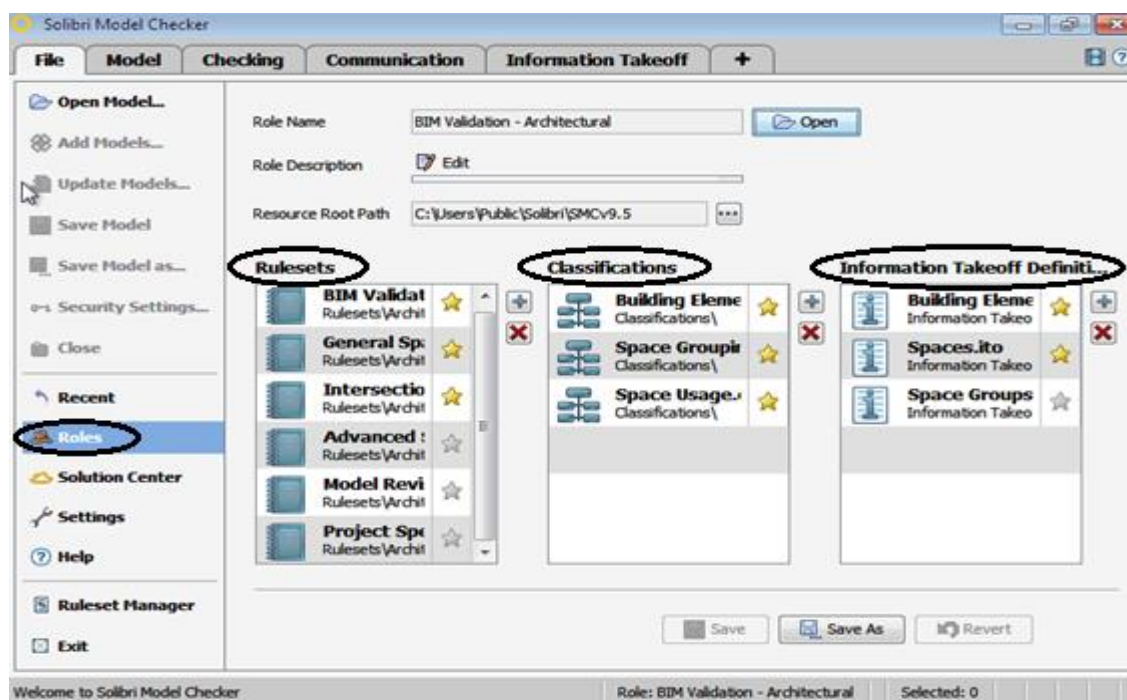
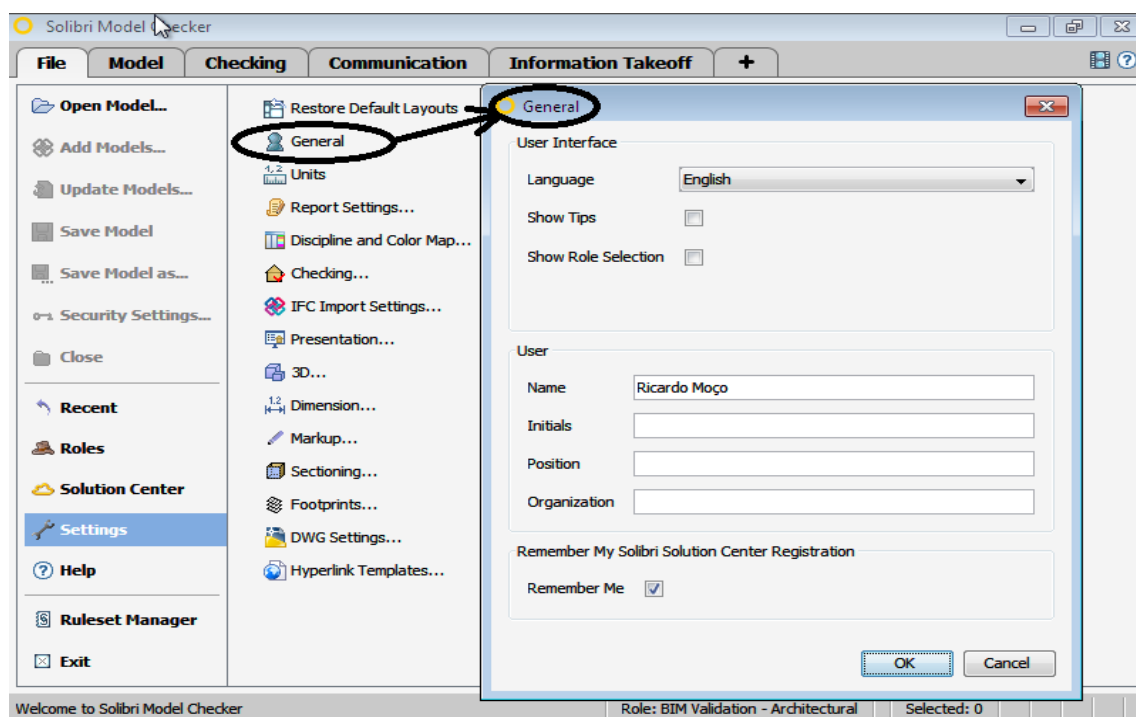


Fig. 79 - Separador *Roles* pertencente à Interface de Ficheiros

O separador *Settings* (Fig. 80), tal como na generalidade dos softwares, permite ao utilizador alterar as definições do SMC ou restaurar as definições de origem. Neste separador são definidas os parâmetros de trabalho, tais como: unidades de trabalho a ser usadas, aspetos visuais, linguagem da interface, definições de importação, entre outras.

Fig. 80 - Separador *Settings* pertencente à Interface de Ficheiros

INTERFACE DO MODELO OU *MODEL LAYOUT*

A Interface do Modelo, ou *Model Layout* em inglês, (Fig. 81) é a interface para visualização do modelo após a sua importação. A interface apresenta, por defeito, 3 janelas de visualização: a *Model Tree*, a *Info*, e a *3D View*. É importante referenciar que as janelas *Info* e a *3D View* são comuns às restantes interfaces.

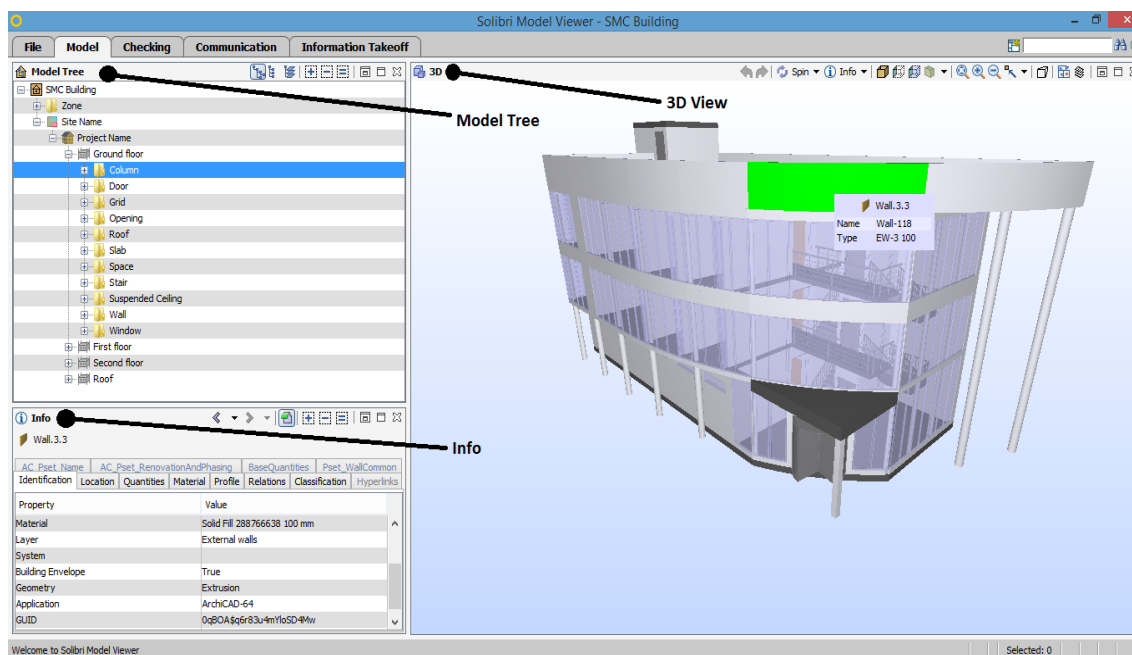


Fig. 81 - Interface do Modelo

A janela *Model Tree* apresenta o conteúdo do modelo, com os seus subsistemas organizados por piso, onde é permitindo selecionar qualquer componente do modelo, interagindo assim com a janela *Info* que permite ao utilizador visualizar a informação relativa ao componente do modelo selecionado. Esta janela apresenta informações como: tipo de componente, material, localização no modelo, dimensões, quantidades, classificação.

A janela *3D View* permite a visualização do modelo, em formato gráfico, nas 3 dimensões espaciais. A interação desta com o utilizador processa-se de maneira semelhante a uma aplicação BIM corrente, incluindo opções como o *Pan*, o *Spin* e o *Walk*.

INTERFACE DE VERIFICAÇÃO OU *CHECKING LAYOUT*

Após a importação do modelo para a aplicação torna-se necessário testar o conjunto de regras a ser verificadas na mesma. Com esse propósito a Interface de Verificação, ou *Checking Layout* em inglês, (Fig. 82) permite correr essa verificação, apresentando os resultados consequentes dessa mesma verificação.

Esta interface apresenta 3 janelas de interação distintas: (1) a *Checking View*; (2) a *Results Summary*; (3) e a *Results*.

A *Checking View* (Fig. 82) permite a introdução/visualização do conjunto de regras, organizadas por categoria, que pretendemos que sejam validadas no modelo. A verificação automática é efetuada recorrendo ao botão “*Check*” nesta mesma janela de interação, e à medida que a verificação for sendo efetuada são apresentados os resultados negativos, organizados por grau de severidade, à frente de cada regra já validada. Nesta fase do processo é importante que todos os componentes do modelo estejam devidamente classificados, garantindo assim a correta execução da operação. Conforme já vimos em capítulos anteriores o modelo de verificação necessita de adequada preparação antes da verificação, isso inclui a classificação adequada de todos os componentes que envolvem essa mesma verificação. O SMC antes de proceder à verificação das regras efetua uma avaliação de integridade do modelo, detetando se o mesmo apresenta as classificações e os parâmetros adequados às regras a validar, e permitindo corrigir os parâmetros em falta se necessário, conforme a Fig. 83. É sempre necessário efetuar uma pré-verificação ao modelo de maneira a garantir a integridade da verificação.

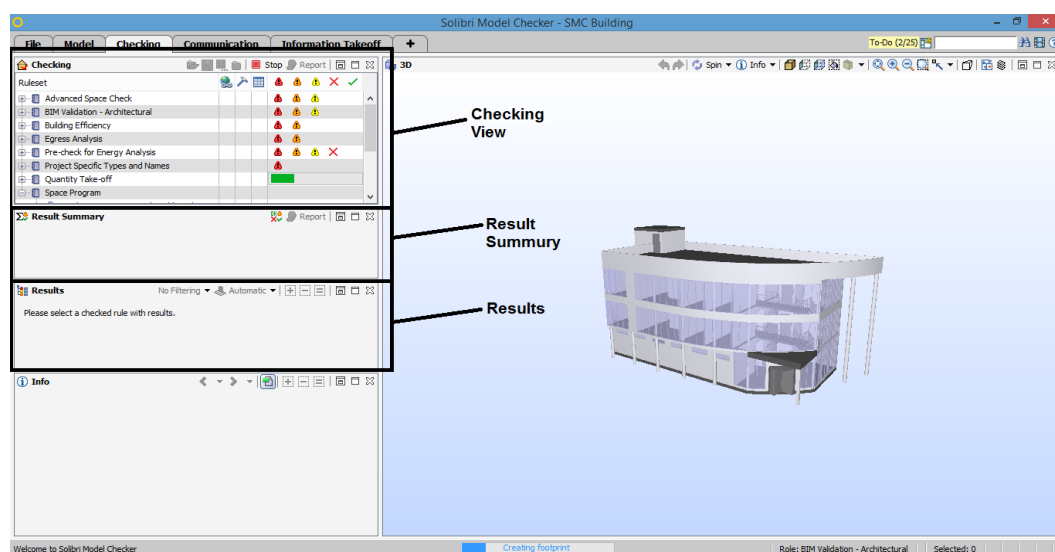


Fig. 82 - Interface de verificação

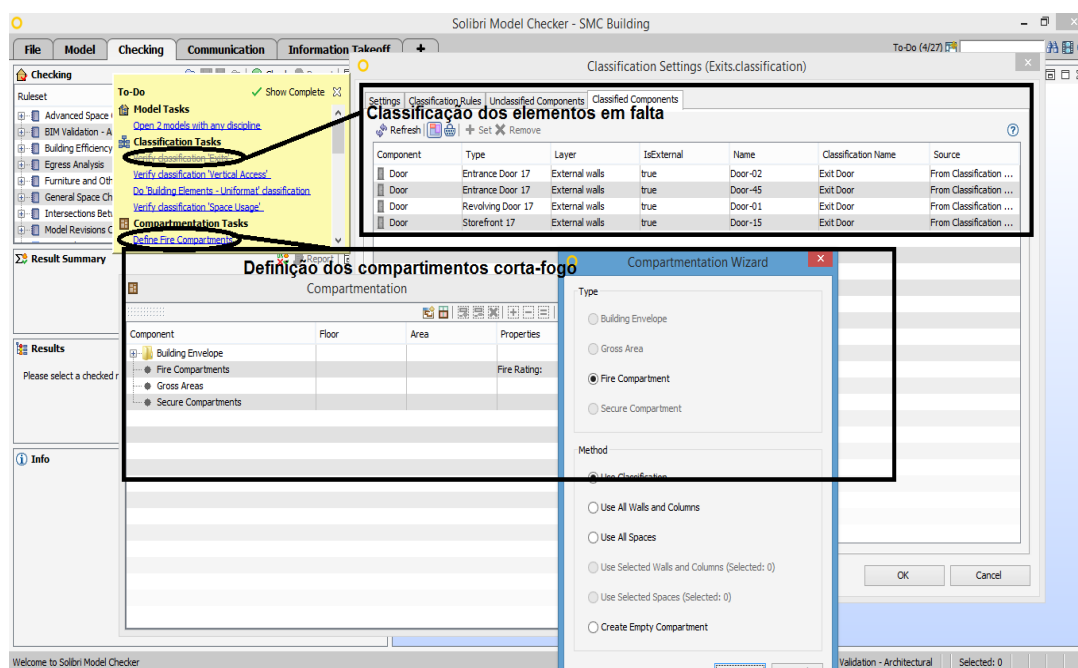
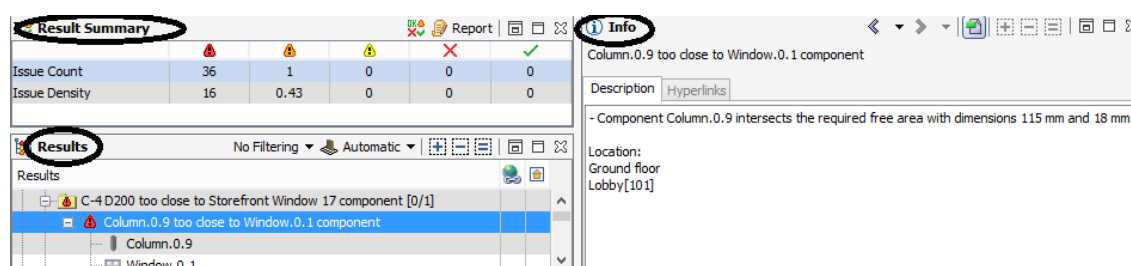


Fig. 83 – Classificação dos elementos necessários à verificação automática

A janela *Results Summary* (Fig. 84) apresenta o número de violações às regras, de baixo, médio e elevado grau de severidade encontradas no modelo para o conjunto de regras selecionadas. Enquanto na janela *Results* (Fig. 84) é possível visualizar os respetivos incumprimentos às regras e os elementos envolvidos em detalhe. É possível obter uma imagem gráfica da regra não validada na verificação, para isso bastando clicar na regra não validada que se quer visualizar ao pormenor na *3D View* (Fig. 85). Na visualização da regra não validada ao pormenor, o programa apenas disponibiliza a visualização dos componentes associados à não validação, permitindo uma mais fácil compreensão do problema e consequentemente facilitando a sua correção. Daqui em diante, de maneira a uniformizar as terminologias utilizadas, todas as regras que não sejam verificadas no modelo serão denominadas pelo autor como problemas ou violações.

Fig. 84 - Janelas de visualização *Results Summary* (em cima à esquerda), *Results* (em baixo à esquerda) e *Info* (à direita)

Esta interface permite interagir diretamente com a Interface de Comunicação através da realização de relatório sobre cada problema encontrado (Fig. 86). A criação de um relatório permite a realização de comentários da regra violada, assim como atribuir responsabilidades para a correção da mesma, permitindo também rejeitar ou aceitar a violação. Este relatório será posteriormente analisado na Interface de Comunicação

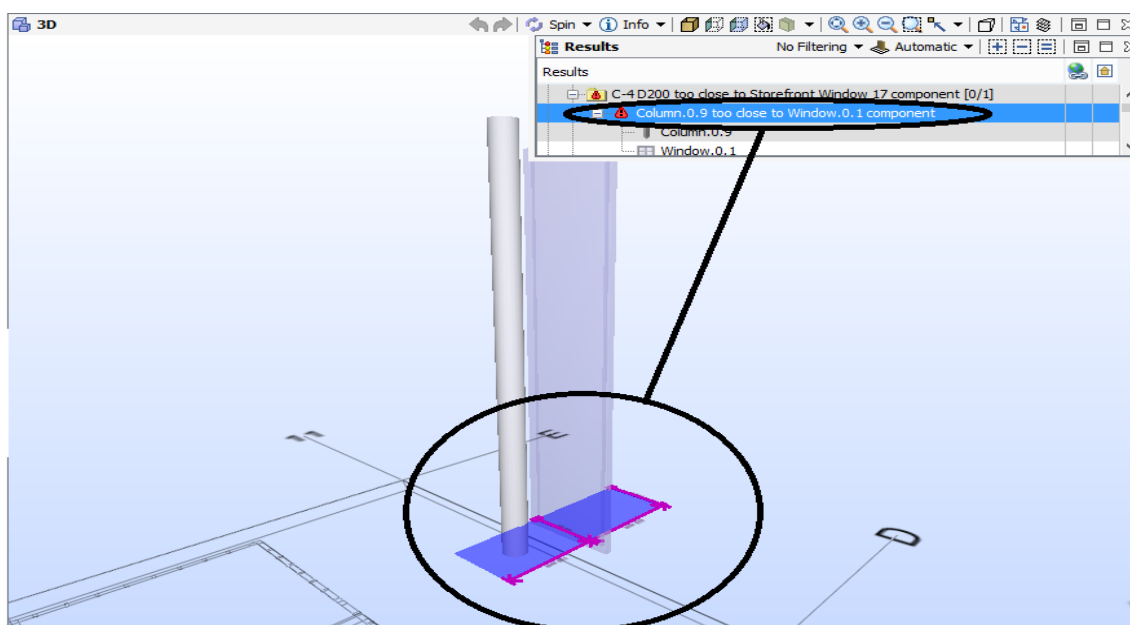


Fig. 85 - Visualização da regra não validada em pormenor na 3D View

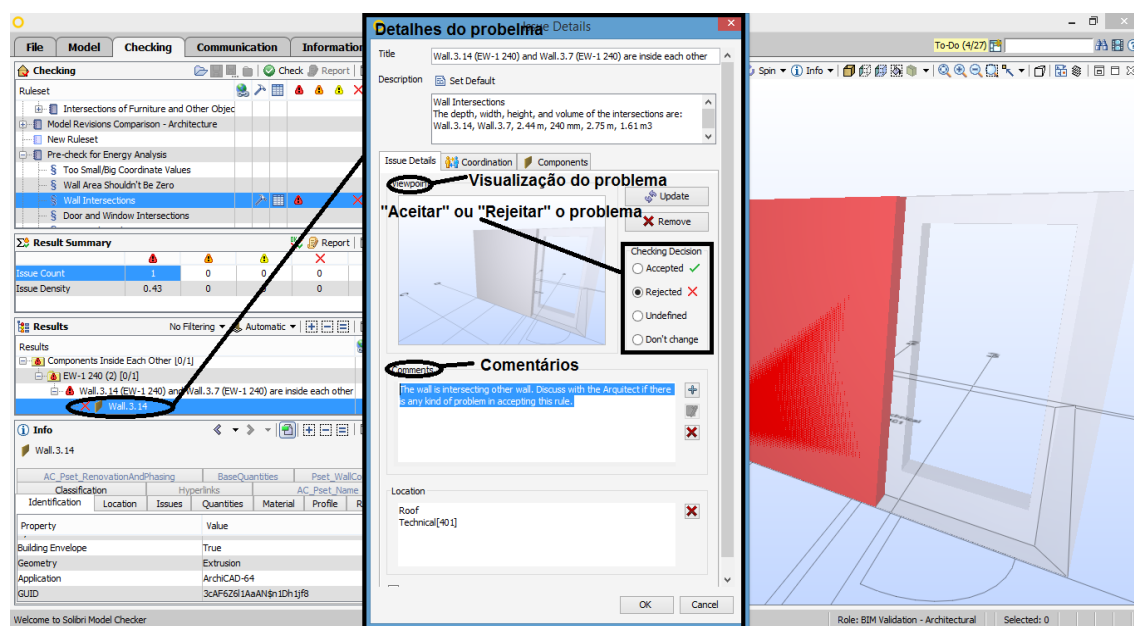


Fig. 86 - Criação de um relatório sobre a regra não validada

INTERFACE DE COMUNICAÇÃO OU COMMUNICATION LAYOUT

Esta interface tem como função a de comunicar os problemas encontrados na interface anterior (Interface de Comunicação) à equipa de projeto por meio de uma apresentação de slides. Para criar uma apresentação basta clicar em “*Add new presentation*”, onde iremos escolher os problemas que queremos que sejam objetos de slides da respetiva apresentação. Tal como na fase anterior é possível realizar relatórios de cada slide com atribuição de responsabilidades a cada problema, bastando para tal clicar no botão direito do respetivo slide e selecionar a opção “*Report*” (Fig. 87). É também

possível exportar o relatório para um ficheiro Excel, PDF ou RTF, tal como está apresentado na Fig. 88.

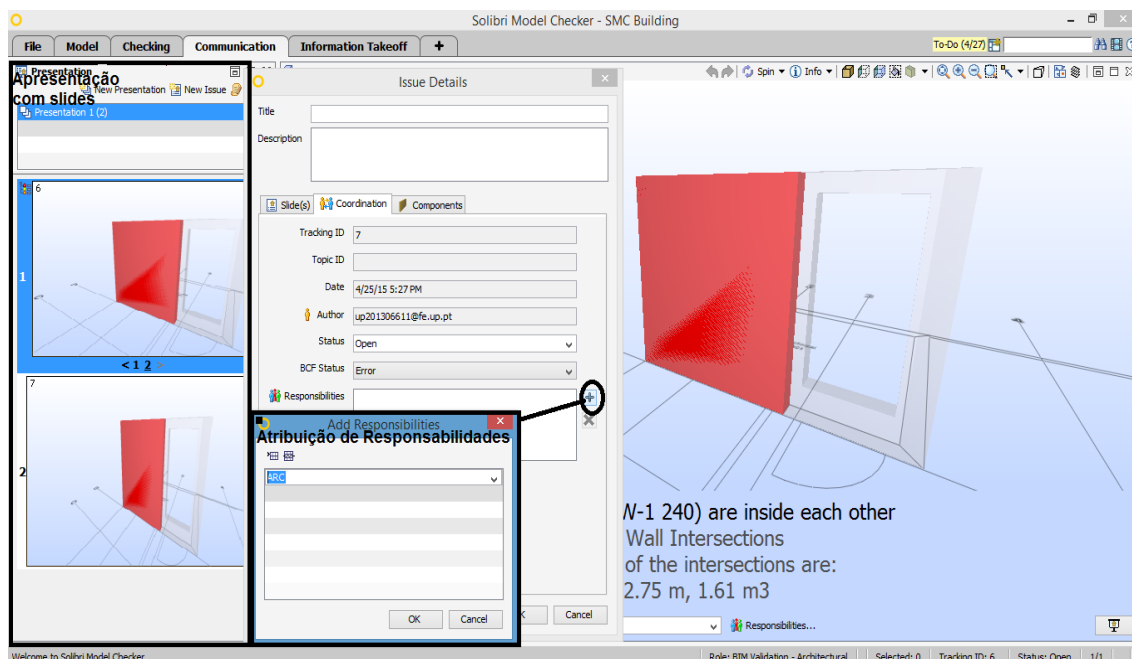


Fig. 87 - Criação de um relatório com atribuição de responsabilidades

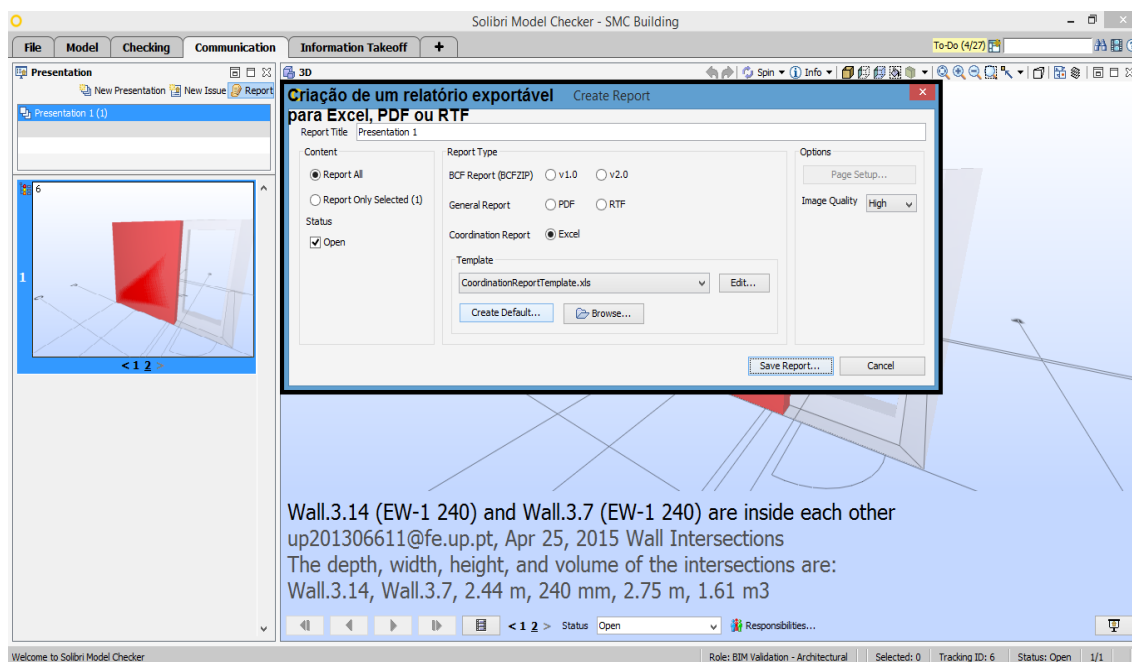


Fig. 88 – Exportação do relatório para Excel, PDF ou RTF

INTERFACE DA INFORMAÇÃO A RECOLHER OU INFORMATION TAKEOFF

Esta interface permite recolher informação do modelo para múltiplos usos. Para o sucesso desta tarefa é de extrema importância, mais uma vez, que todos os componentes do modelo estejam corretamente

classificados. A recolha de informação processa-se por meio de um relatório, exportável para formato Excel, tal como representado na Fig. 89.

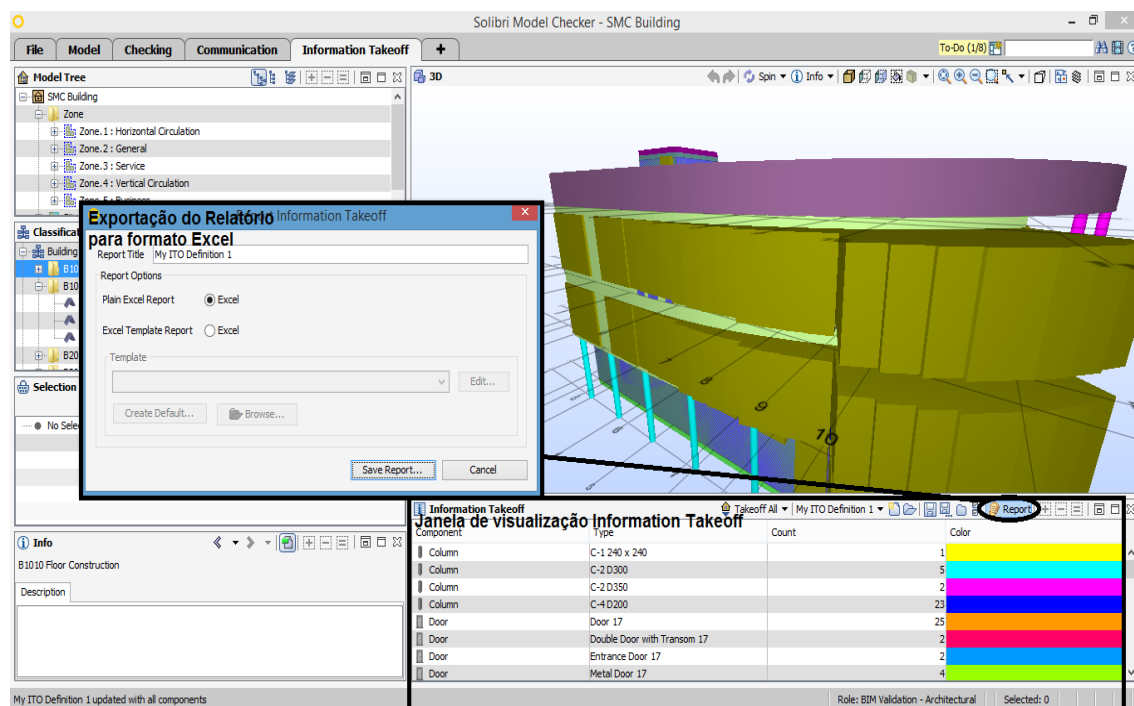


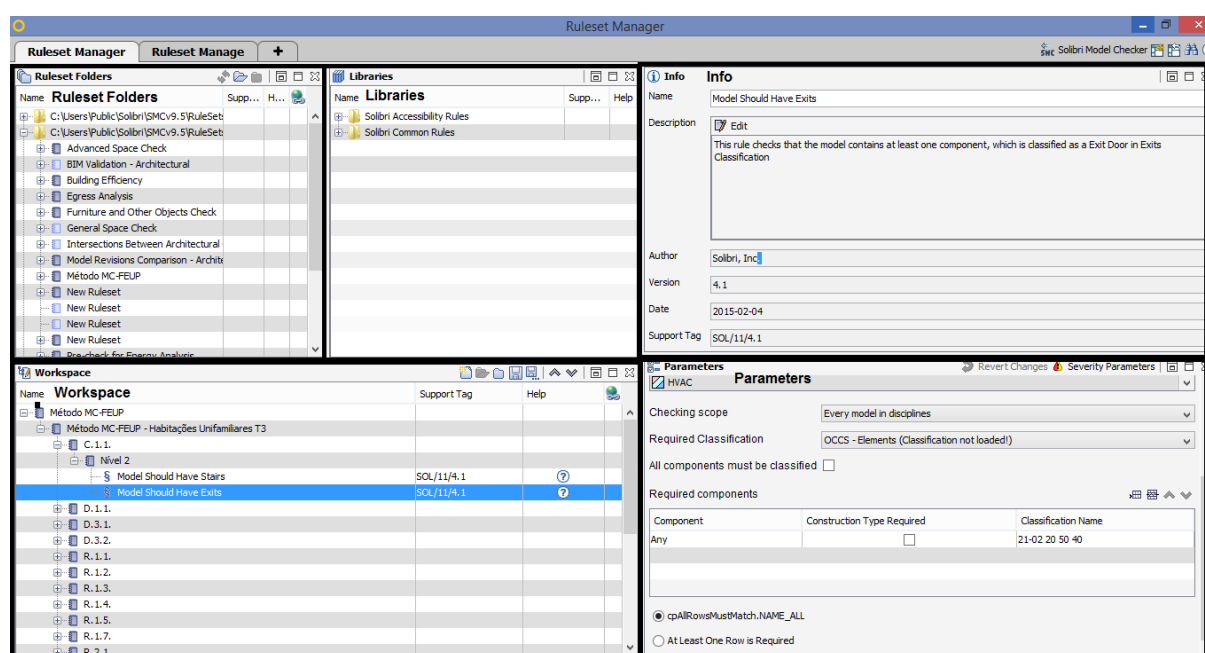
Fig. 89 - Interface da Informação a recolher

Para criar um relatório basta clicar em “*Create new Information Takeoff*”, na janela de visualização *Information Takeoff*, escolher os componentes dos quais queremos retirar informação e o tipo de informação que queremos exportar. O tipo de informação que é possível retirar são: quantidades, materiais, áreas, volumes, custos unitários, entre outros. Os tipos de componentes dos quais queremos retirar informação útil encontram-se hierarquizados por cores para melhor compreensão. Para a criação do relatório, com vista à sua exportação em formato XLS, basta seleccionar os componentes que irão ser objeto do mesmo e clicar no botão “Report” e exportar gravar em formato Excel (Fig. 89).

RULESET MANAGER OU GESTOR DE REGRAS

Esta interface é composta por 5 janelas de visualização distintas (Fig. 90): (1) a *Rulesets Folder*; (2) a *Libraries*; (3) a *Workspace*; (4) a *Info*; (5) e a *Parameters*.

As duas primeiras janelas de visualização incluem as regras disponibilizadas pelo SMC, cujos conteúdos podem ser explorados para posterior verificação automática. A diferença está no facto de que a *Ruleset Folder* inclui regras já com parâmetros já definidos e preparadas para aplicação, enquanto a *Libraries* fornece apenas o *template* das regras para posterior adição dos parâmetros adaptados ao uso de cada utilizador.

Fig. 90 – Interface do Gestor de Regras ou *Ruleset Manager*

O objetivo principal deste trabalho foca-se na adaptação prática de um método de avaliação de qualidade de um edifício de habitação às regras já predefinidas pelo SMC, como tal a tarefa essencial deste trabalho passa obrigatoriamente pela edição, ou adição, dos parâmetros das regras fornecidas pela aplicação. O primeiro passo é então criar o nosso conjunto de regras no nosso *Workspace*, para tal, nessa janela de visualização, teremos de clicar em “*New Ruleset*” e arrastar as regras da janela *Libraries*, ou então as regras existentes na *Ruleset Folder*, que pretendemos editar. Após a definição do conjunto de regras necessário, o sucesso da tarefa seguinte é determinado pela eficácia da edição das regras, adicionadas ao *Workspace*. A adição/edição dos parâmetros das regras é realizado na janela de interação *Parameters*, cuja dificuldade de edição é determinado pela complexidade de cada regra.

A janela de visualização *Info* fornece a descrição de cada regra. Se quisermos a compreensão total de uma determinada regra, basta clicar no botão de ajuda (?), disponível à frente de cada regra, em que será aberta uma página web com uma explicação detalhada da regra que queremos, conforme explicitado na Fig. 91.

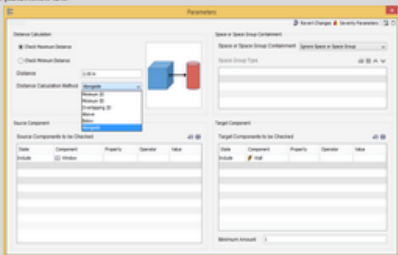
Component Distance

Overview

This rule checks that there are required (target) type of components within the required distance from the source component. For example, rule can be used to check that the distance between water taps and shelves is less than 12m. Or that there are at least two spaces using...

Configuring Rule Rule

Rule parameters are:



Check Maximum Distance

Selection of the radio button checks the presence of the target component outside the range of the maximum distance between the source component and target component(s). If the component is found at a distance greater than the distance specified, then an issue is created.

Check Minimum Distance

Selection of the radio button checks the presence of the target component inside the range of the minimum distance between the source component and target component(s). If the component is found at a distance lesser than the distance specified, then an issue is created.

Distance

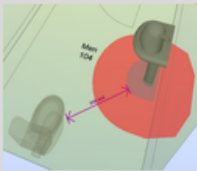
The distance range is entered here within which or outside of which the source component (1) and target component (2) could exist. The distance is automatically converted to the units specified as by default in the [Linear Dimension](#).

Distance Calculation Method:

There are six distance calculation methods.

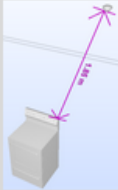
Minimum 2D

Distance calculation between two components in two dimensions, e.g. Two components facing each other and their distance is calculated in 2D as shown in the following screenshot.



Minimum 3D

Distance calculation between two components in three dimensions, e.g. Two components facing each other and their distance is calculated in 3D such as the distance between a stove and a smoke detector as shown in the following screenshot.



Overlapping 2D

The distance calculation method is used to find out situations where unwanted components are in the area that is calculated by protruding footprint segments of source component with the given distance. A typical use case is to avoid specific components, for example, electric c...

Fig. 91 – Explicação detalhada de cada regra em página de internet

ANEXO 2 – ANÁLISE AOS CRITÉRIOS AVALIADOS NO MÉTODO MC-FEUP

Apresenta-se na tabela seguinte uma análise concisa aos critérios avaliados no Método MC-FEUP, incluídos nos três Objetivos Superiores que servem de suporte à verificação automática a realizar no âmbito desta dissertação.

Para cada critério de avaliação definido no método foi indicada a possibilidade de verificação automática (através de um modelo de informação) ou manual (por observação dos elementos de projeto ou observação direta em obra durante ações de fiscalização) de cada um deles. Foi também especificada, para cada critério de avaliação presente no MC-FEUP, a *ruleset* do SMC aplicável a esse mesmo critério.

Com base no proposto pelo Professor João Pedro Poças Martins no seguimento da sua tese de doutoramento [2], foi definido um sistema de classificação, para cada critério de avaliação, indicando a possibilidade da verificação ser efetuada (s), se podendo ser efetuada, é considerada pouco viável (p) ou se não pode ser efetuada (n).

Tabela 5 – Análise aos Critérios avaliados no Método MC-FEUP

Objetivo Superior	Objetivo Parcial	Critério de Avaliação	Manual	Automática	Ruleset SMC	Observações
Segurança contra incêndio	Segurança Passiva - C	C.1.1.	s	s	(1) <i>Model Should Have Stairs;</i> (2) <i>Spaces Must Be Connected to Doors;</i> (3) <i>Model Should Have Exits.</i>	Apenas é possível obter até ao nível de qualidade 2.
		C.1.2.	s	n	-	Requer elevado nível de detalhe do modelo, não compatível com esta fase do processo
	Meios de Ataque - D	D.1.1.	s	s	(1) <i>Number of Components;</i> (2) <i>Component and Construction Types.</i> (3) <i>Component Distances;</i>	A obtenção do nível de qualidade 4 requer especificação elevada do extintor no modelo.

D.2.1.	s	n	-	Sendo o caso de estudo um edifício unifamiliar, o mesmo terá nível 4 neste critério de avaliação. Caso se tratasse de um edifício multifamiliar a verificação automática não seria completa, visto o SMC não permitir validações de pressões de uma rede de distribuição
				A aplicação deste critério ao caso de estudo não apresenta fundamento de aplicação, visto a valiação do mesmo em habitações unifamiliares apresentarão o mesmo nível de qualidade atribuído ao Critério D.2.2.. Em termos de execução, revela-se semelhante a D.1.1.
D.2.2.	s	s	-	
D.3.1.	s	s		(1) Model Should Have Components; (2) Component Distances.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

					Necessário converter m/pessoa em m correspondendo a tipologia ao numero de habitantes médio nessa tipologia
	R.2.1.	s	s	(1) Wall Length	
	R.2.2.	s	s	(1) Wall Length	
	R.2.3.	s	s	(1) Free Floor Space	Não é possível diferenciar corredores secundários de primários
	R.2.4.	s	s	(1) Component Distances;	A distância a medir corresponde à medida perpendicular entre a fachada e as guardas das varandas/espacos exteriores
Organizaçã o de Espaços - S	S.1.1.	s	s		A verificação automática não consegue validar o nível 2 de qualidade dada a ambiguidade presente na mesma. A averiguação do nível 2 poderá ser feita facilmente por observação direta.
	S.1.2.	s	s		
	S.1.3.	s	s		
	S.1.4.	s	s		
	S.1.5.	s	s	(1) Distance Between Spaces	A verificação automática consegue validar apenas se a circulação é direta ou não.
	S.2.1.	s	p		A verificação automática consegue validar apenas se a circulação é direta ou não. O nível de qualidade é atribuído

					manualmente por observação direta
Utilização de zonas comuns do edifício	No Edifício - T	S.2.2.	s	s	
		T.1.1.	s	s	(1) Space Area
		T.2.1.	s	s	
		T.2.2.	s	s	-
		T.3.1.	s	s	-
		T.3.2.	s	s	(1) The Model Should Have Space
					Possível caso o modelo em estudo se tratasse de habitações multifamiliares com espaços comuns
					Possível caso o modelo se tratasse de habitações multifamiliares com espaços comuns
					Dado o caso de estudo se tratar de uma única habitação unifamiliar o valor de lugares/habitação é igual ao número de lugares. Caso se pretendesse verificar um caso de um edifício com várias habitações multifamiliares já seria difícil de converter esta regra num caso genérico (por razões já apresentadas na presente dissertação)
No Espaço Envolvente	U.1.1.	s	s	(1) Space Area	
	U.1.2.	s	s	(1) Space Area	

- U

U.2.1. s s

(1)The Model Should Have Space

Dado o caso de estudo se tratar de uma única habitação unifamiliar o valor de lugares/habitação é igual ao número de lugares. Caso se pretendesse verificar um caso de um edifício com várias habitações multifamiliares já seria difícil de converter esta regra num caso genérico (por razões já apresentadas no desenvolviment o da presente dissertação)

ANEXO 3 – ANÁLISE AOS ELEMENTOS REQUERIDOS NO MÉTODO MC-FEUP – CORRESPONDÊNCIA COM O SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO OMNICLASS

Apresenta-se na tabela seguinte uma análise aos elementos requeridos no Método MC-FEUP, com respetiva referência de classificação Omniclass atribuída na preparação do modelo de verificação a cada elemento.

Tabela 6 - Análise aos elementos requeridos pelo Método MC-FEUP e correspondência com a respetiva referência de classificação Omniclass

Objetivo Superior	Objetivo Parcial	Critério de Avaliação	Zonas a Classificar	Objetos a Classificar	Classificação Omniclass - Zonas	Classificação Omniclass - Objetos	Especificação Zona	Especificação Objeto
Segurança contra incêndio	Segurança Passiva - C	C.1.1.	-	(1) Escadas	-	(1) 21-02 10 80 - <i>Stairs</i>	-	-
		C.1.2.			-			
	Meios de Ataque - D	D.1.1.	(1) Cozinha	(1) Extintor (2) Porta de acesso à cozinha	(1) 13-65 23 00 - <i>Kitchen</i>	(1) 21-04 40 30 30 - <i>Fire Extinguishers</i>	-	(1) ABC Dry Powder
						(2) 21-03 10 30 20 - <i>Interior Entrance Doors</i>		(2) Kitchen Entrance Door
		D.2.1.			-			
		D.2.2.			-			
		D.3.1.	-	(1) Marco de Incêndio (2) Saída de emergência do mesmo	-	(1) 21-04 40 10 10 <i>Water-Based Fire-Suppression</i>		(2) Emergency Exit
						(2) 21-02 20 50 40 <i>Exterior Special Function Doors</i>		

Conceção espacial de zonas privativas	Atribuição de Espaços - R	D.3.2.	(1) Via de Acesso	(1) Parede de fachada	(1) 13-21 11 11 - <i>Exterior Parking Circulation</i>	(1) 21-02 20 10 - <i>Exterior Walls</i>	(1) <i>Access Road</i>	(1) <i>Facade</i>
		R.1.1.	(1) Quartos	-	(1) 13-65 19 00 - <i>Bedroom</i>	-	-	-
		R.1.2.	(1) Sala de Estar (2) Sala de Jantar	-	(1) 13-57 17 11 - <i>Rest Area</i> (2) 13-57 13 15 11 - <i>Dining Room</i>	-	-	-
		R.1.3.	(1) Cozinha	-	(1) 13-65 23 00 - <i>Kitchen</i>	-	-	-
		R.1.4.	(1) Instalações Sanitárias	-	(1) 13-65 13 00 - <i>Bathroom</i>	-	-	-
		R.1.5.	(1) Arrumos	-	(1) 13-63 13 11 - <i>Storage Room</i>	-	-	-
		R.1.6.			-			
		R.1.7.	(1) Lavandaria	-	(1) 13-65 17 00 - <i>Laundry Room</i>	-	-	-
		R.2.1.	(1) Quartos	-	(1) 13-65 19 00 - <i>Bedroom</i>	-	-	-
		R.2.2.	(1) Sala de Estar (2) Sala de Jantar	-	(1) 13-57 17 11 - <i>Rest Area</i> (2) 13-57 13 15 11 - <i>Dining Room</i>	-	-	-
		R.2.3.	(1) Corredores	-	(1) 13-25 11 11 - <i>Corridor</i>	-	-	-
		R.2.4.	(1) Varandas/Terrços	(1) Parede de fachada (2) Guarda de varanda/terraço	(1) 13-69 23 00 - <i>Deck</i>	(1) 21-02 20 10 - <i>Exterior Walls</i> (2) 21-02 20 80 50 - <i>Exterior Balcony Walls</i>	-	(1) <i>Facade</i>

				<i>and Railings</i>		
Organização de Espaços - S	S.1.1.	(1) Entrada (2) Instalações Sanitárias	-	(1) 13-25 13 13 Entry Lobby (2) 13-65 13 00 - Bathroom	-	-
	S.1.2.	(1) Entrada (2) Cozinha	-	(1) 13-25 13 13 Entry Lobby (2) 13-65 23 00 - Kitchen	-	-
	S.1.3.	(1) Entrada (2) Sala de Estar (3) Sala de Jantar	-	(1) 13-25 13 13 Entry Lobby (2) 13-57 17 11 - Rest Area (3) 13-57 13 15 11 - Dining Room	-	-
	S.1.4.	(1) Entrada (2) Quartos	-	(1) 13-25 13 13 Entry Lobby (2) 13-65 19 00 - Bedroom	-	-
	S.1.5.	(1) Quartos (2) Instalações Sanitárias	-	(1) 13-65 19 00 - Bedroom (2) 13-65 13 00 - Bathroom	-	-
	S.2.1.			-		
	S.2.2.	(1) Sala de Jantar (2) Cozinha	-	(1) 13-57 13 15 11 - Dining Room (2) 13-65 23 00 -	-	-

Kitchen							
Utilização de zonas comuns do edifício	No Edifício - T	T.1.1.	(1) Arrumos Exteriores	-	(1) 13-63 00 00 - Storage Spaces	-	-
		T.2.1.			-		
		T.2.2.			-		
		T.3.1.			-		
		T.3.2.	-	(1) Aparcamento para bicicleta	-	(1) 23-11 29 11 11 - Bicycle Racks	-
	No Espaço Envolvente - U	U.1.1.	(1) Zona de jogos para crianças	-	(1) 13-33 15 21 - Playground	-	-
		U.1.2.	(1) Jardim	-	(1) 13-33 15 13 - Pleasure Garden	-	-
		U.2.1.	(1) Estacionamento Automóvel	-	(1) 13-21 00 00 - Parking Spaces	-	(1) Car Parking Space

